



TUGAS AKHIR - RE 091324

**PENGARUH PANJANG *CONE* DAN TEKANAN
PADA *HYDROCYCLONE* DALAM
MENURUNKAN *TOTAL SUSPENDED SOLID***

**ANITA KUSMAYANTI
NRP 3310 100 061**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ali Masduqi, ST., MT.**

**Co. Pembimbing
Ir. Atiek Moesriati, M.Kes.**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014**



FINAL PROJECT - RE 091324

THE INFLUENCE OF CONE LENGTH AND PRESSURE ON HYDROCYCLONE TO REMOVE TOTAL SUSPENDED SOLID

ANITA KUSMAYANTI
NRP 3310 100 061

Supervisor
Dr. Ali Masduqi, ST., MT.

Co. Supervisor
Ir. Atiek Moesriati, M.Kes.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PANJANG *CONE* DAN TEKANAN PADA *HYDROCYCLONE* DALAM MENURUNKAN *TOTAL SUSPENDED SOLID*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana
Pada

Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh :

ANITA KUSMAYANTI
NRP. 3310 100 061

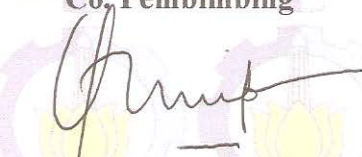
Disetujui oleh

Pembimbing

Co. Pembimbing



Dr. Ali Masduqi, ST., MT.
NIP. 196801281994031003



Ir. Atiek Moesriati, M.Kes.
NIP. 19570602198032002



SURABAYA, JULI 2014

Pengaruh Panjang *Cone* dan Tekanan pada *Hydrocyclone* dalam Menurunkan *Total Suspended Solid*

Nama : Anita Kusmayanti
NRP : 3310100061
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ali Masduqi, ST., MT.
Dosen Co. Pembimbing : Ir. Atiek Moesriati, M.Kes.

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan proses sedimentasi dengan menggunakan hydrocyclone sebagai salah satu teknologi alternatif dalam pengolahan air bersih. Pada hydrocyclone lebih cenderung menggunakan gaya sentrifugal daripada gaya gravitasi, sehingga menghasilkan pengendapan yang lebih cepat daripada metode konvensional. Keunggulan dari hydrocyclone adalah memiliki waktu detensi yang sebentar, hemat lahan, lebih efisien, dan perawatannya mudah.

Diameter hydrocyclone yang digunakan pada penelitian ini adalah 20 cm. Faktor yang mempengaruhi efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan pada hydrocyclone antara lain faktor struktur, operasional, dan fisik. Dalam penelitian ini dilakukan variasi pada faktor struktur yaitu panjang cone dan variasi pada faktor operasional yaitu tekanan. Variasi pada penelitian ini yaitu: panjang cone 40 cm dengan tekanan $0,1 \text{ kg/cm}^2$, panjang cone 40 cm dengan tekanan $0,15 \text{ kg/cm}^2$, panjang cone 60 cm dengan tekanan $0,1 \text{ kg/cm}^2$, dan panjang cone 60 cm dengan tekanan $0,15 \text{ kg/cm}^2$.

Pada penelitian ini digunakan air baku yaitu air Kali Surabaya dengan nilai rata-rata TSS $179,65 \text{ mg/l}$ dan nilai rata-rata kekeruhan $153,47 \text{ NTU}$. Dalam penelitian ini dilakukan analisis penyisihan TSS dan kekeruhan karena hydrocyclone memang hanya dapat meremoval secara fisik saja, utamanya adalah TSS. Dihasilkan bahwa penyisihan TSS dan kekeruhan

paling baik terjadi pada variasi panjang cone 40 cm dan tekanan 0,15 kg/cm² yang menghasilkan penyisihan TSS 31,8% dan kekeruhan 11,2%.

Kata kunci : hydrocyclone, TSS, gaya sentrifugal, tekanan, panjang cone

The Influence of Cone Length and Pressure on Hydrocyclone to Reduce Total Suspended Solid

Name : Anita Kusmayanti
Student Number : 3310100061
Departement : Environmental Engineering
Supervisor : Dr. Ali Masduqi, ST., MT.
Co. Supervisor : Ir. Atiek Moesriati, M.Kes.

Abstract

This research was conducted sedimentation process by using hydrocyclone as an alternative method of water treatment. Hydrocyclone is more likely to use centrifugal force rather than gravitational force, thus resulting more rapid precipitation than conventional method. The advantages of hydrocyclone are brief detention time, less area needed, more efficient, and simple maintenance.

The diameter used in this research was 20 cm. Structure, operational, and physical having an affect on efficiency of Total Suspended Solid and turbidity removal. Variable used in this research was cone length as structure factor and pressure as operational factor. The variation used in this research was cone length 40 cm with pressure 0,1 kg/cm², cone length 40 cm with pressure 0,15 kg/cm², cone length 60 cm with pressure 0,1 kg/cm², and cone length 60 cm with pressure 0,15 kg/cm².

In this research, removal of TSS and turbidity were analyzed because hydrocyclone was only a physical treatment. The best removal efficiency of TSS was 31,8% and removal of turbidity was 1,2%. This removal efficiencies was obtained from variation of cone length 40 cm with pressure 0,15 kg/cm².

Key word : hydrocyclone, TSS, centrifugal force, pressure, cone length

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas selesainya tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Panjang *Cone* dan Tekanan pada *Hydrocyclone* dalam Menurunkan *Total Suspended Solid*” ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Kusyanto dan Ibu Suparmi selaku orang tua, kakak-kakakku Andiani Kuswardhany dan Nova Dwi Cahya, serta adikku tersayang Andika Kusmahendra yang tidak henti mendoakan serta memberikan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Dr. Ali Masduqi, ST., MT. selaku dosen pembimbing dan Ibu Ir. Atiek Moesriati, M.Kes. selaku dosen co-pembimbing yang telah dengan sabar dalam memberikan pengarahan, masukan, nasehat serta bimbingan kepada penulis.
3. Bapak Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D., Bapak Ir. Hariwiko Indarjanto, M.Eng., dan Ibu Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pengarah yang telah memberikan banyak masukan untuk kebaikan penulis.
4. Bapak Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc., ES., Ph.D. selaku dosen wali yang telah banyak membantu penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
5. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan ITS, beserta seluruh dosen pengajar yang telah mencurahkan ilmu-ilmu bermanfaatnya.
6. Bapak Alfian Purnomo, ST., MT. selaku koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
7. Bapak-Ibu Laboran di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

8. Deni Maryani, Lusi Ulisfah, dan Nurul Setiadewi yang selalu memberikan motivasi, bahkan solusi dalam setiap masalah yang penulis hadapi.
9. Teman-teman mahasiswa Teknik Lingkungan ITS khususnya angkatan 2010, terima kasih banyak atas segala bantuannya, baik semangat, doa, maupun bantuan langsung yang sangat besar untuk penulis.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam penyusunan tugas akhir ini, akan tetapi penulis juga mengharapkan saran dan masukan agar tugas akhir ini menjadi lebih baik. Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang memerlukan.

Surabaya, Juli 2014
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Hydrocyclone</i>	5
2.1.1 Bagian-bagian pada <i>Hydrocyclone</i>	6
2.1.2 Mekanisme Kerja	7
2.1.3 Parameter Penting	9
2.1.3.1 Struktur	9
2.1.3.2 Fisik.....	11
2.1.3.3 Operasional	12
2.1.4 Penentuan Dimensi	13
2.2 Total Suspended Solid (TSS)	15
2.3 Kekeruhan	15
2.4 Karakteristik Kali Surabaya	16
2.5 Pompa.....	16
2.6 Penelitian Terdahulu.....	18
BAB 3 METODE PENELITIAN	21
3.1 Kerangka Penelitian.....	21
3.2 Tahapan Penelitian	23
3.2.1 Ide Tugas Akhir	23

3.2.2 Studi Literatur	23
3.2.3 Persiapan Alat dan Bahan	24
3.2.3.1 Reaktor <i>Hydrocyclone</i>	24
3.2.3.2 Peralatan Pelengkap	26
3.2.3.3 Air Sampel	26
3.2.4 Pelaksanaan Penelitian	26
3.2.5 Prosedur Operasi	27
3.2.6 Analisa Data dan Pembahasan	28
3.2.7 Kesimpulan dan Saran	28

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN 29

4.1 Air Baku	29
4.2 Unit <i>Hydrocyclone</i>	29
4.3 Pengoperasian <i>Hydrocyclone</i>	30
4.4 Kemampuan Penyisihan <i>Hydrocyclone</i> terhadap Parameter Uji TSS	34
4.4.1 <i>Hydrocyclone</i> dengan Panjang <i>Cone</i> 40 cm dan Tekanan 0,1 kg/cm ²	34
4.4.2 <i>Hydrocyclone</i> dengan Panjang <i>Cone</i> 40 cm dan Tekanan 0,15 kg/cm ²	37
4.4.3 <i>Hydrocyclone</i> dengan Panjang <i>Cone</i> 60 cm dan Tekanan 0,1 kg/cm ²	39
4.4.4 <i>Hydrocyclone</i> dengan Panjang <i>Cone</i> 60 cm dan Tekanan 0,15 kg/cm ²	42
4.5 Kemampuan Penyisihan <i>Hydrocyclone</i> terhadap Parameter Uji Kekeruhan	44
4.5.1 <i>Hydrocyclone</i> dengan Panjang <i>Cone</i> 40 cm dan Tekanan 0,1 kg/cm ²	45
4.5.2 <i>Hydrocyclone</i> dengan Panjang <i>Cone</i> 40 cm dan Tekanan 0,15 kg/cm ²	47
4.5.3 <i>Hydrocyclone</i> dengan Panjang <i>Cone</i> 60 cm dan Tekanan 0,1 kg/cm ²	49
4.5.4 <i>Hydrocyclone</i> dengan Panjang <i>Cone</i> 60 cm dan Tekanan 0,15 kg/cm ²	51
4.6 Korelasi Antar Parameter	53

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN A.....	61
LAMPIRAN B	63
LAMPIRAN C	65
LAMPIRAN D.....	67
LAMPIRAN E	73

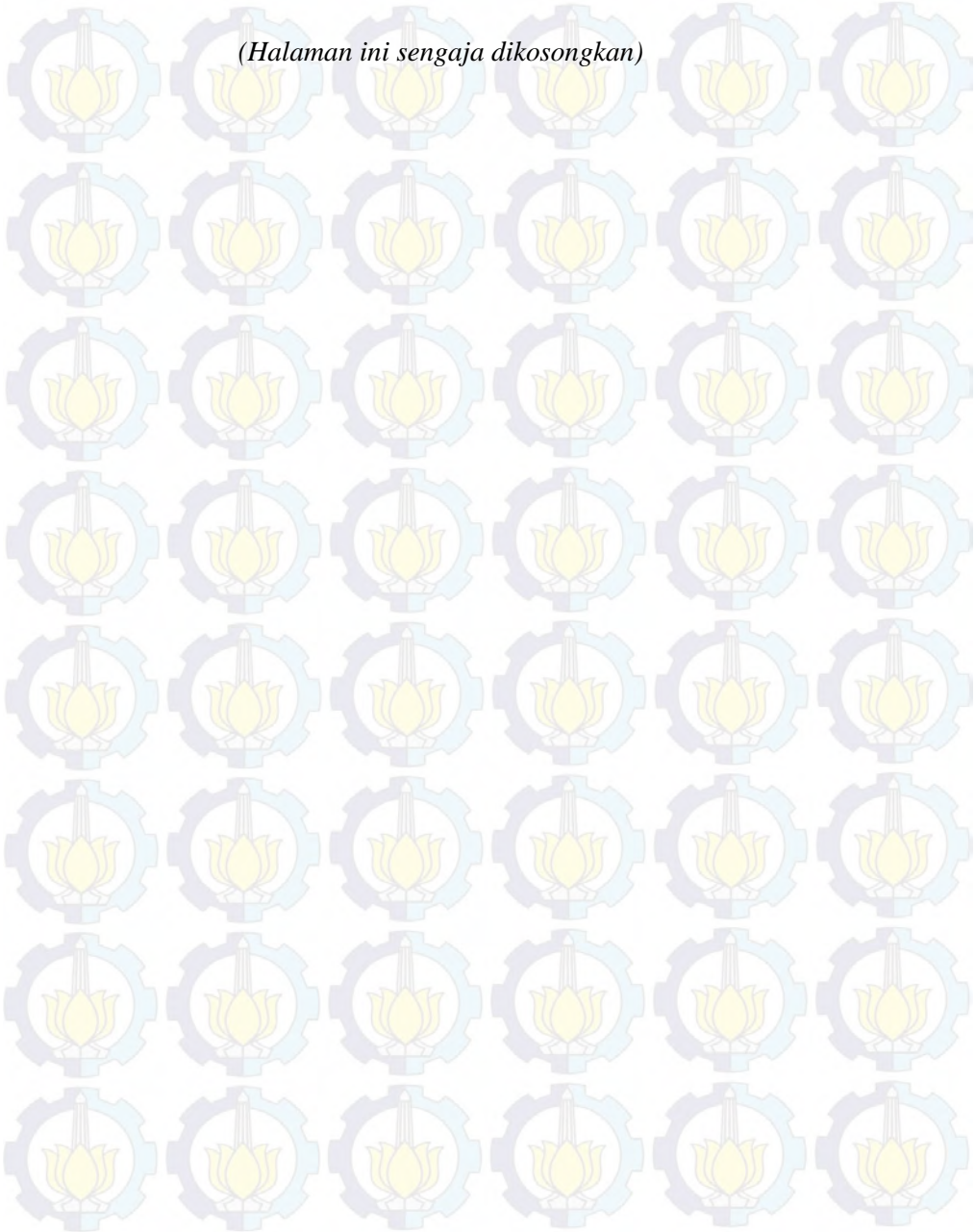
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian-bagian pada <i>Hydrocyclone</i>	6
Gambar 2.2 Lintasan Aliran di Dalam <i>Hydrocyclone</i>	7
Gambar 2.3 Tangensial Inlet pada <i>Hydrocyclone</i>	10
Gambar 2.4 Perhitungan Dimensi <i>Hydrocyclone</i>	14
Gambar 2.5 Gradient tekanan pada (a) 6^0 , (b) 10^0 , dan (c) 20^0	20
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	23
Gambar 3.2 Rangkaian Reaktor	25
Gambar 4.1 Skema Reaktor <i>Hydrocyclone</i>	32
Gambar 4.2 Grafik Penyisihan TSS pada Penelitian I	35
Gambar 4.3 Ilustrasi Gaya yang Terjadi di Dalam <i>Hydrocyclone</i>	36
Gambar 4.4 Grafik Penyisihan TSS pada Penelitian II	38
Gambar 4.5 Grafik Penyisihan TSS pada Penelitian III	41
Gambar 4.6 Grafik Penyisihan TSS pada Penelitian IV	43
Gambar 4.7 Grafik Penyisihan Kekeruhan pada Penelitian I	46
Gambar 4.8 Grafik Penyisihan Kekeruhan pada Penelitian II	48
Gambar 4.9 Grafik Penyisihan Kekeruhan pada Penelitian III	50
Gambar 4.10 Grafik Penyisihan Kekeruhan pada Penelitian IV	52

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Variasi Penelitian	27
Tabel 4.1 Hasil Analisa TSS pada Penelitian I.....	34
Tabel 4.2 Hasil Analisa TSS pada Penelitian II	38
Tabel 4.3 Hasil Analisa TSS pada Penelitian III.....	40
Tabel 4.4 Hasil Analisa TSS pada Penelitian IV.....	42
Tabel 4.5 Hasil Analisa Kekeruhan pada Penelitian I.....	45
Tabel 4.6 Hasil Analisa Kekeruhan pada Penelitian II.....	47
Tabel 4.7 Hasil Analisa Kekeruhan pada Penelitian III.....	49
Tabel 4.8 Hasil Analisa Kekeruhan pada Penelitian IV.....	51

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada pengolahan air, proses pemisahan antara air dengan partikel diskrit salah satunya dilakukan dengan sedimentasi. Proses sedimentasi yang umum digunakan yaitu sedimentasi konvensional (prasedimentasi) yang proses pemisahannya dengan gaya gravitasi. Teknologi pemisahan lain yang dapat digunakan yaitu proses pemisahan melalui perpaduan gaya gravitasi dan gaya sentrifugal, salah satunya adalah *hydrocyclone*.

Hydrocyclone merupakan alat yang digunakan untuk memisahkan partikel diskrit dengan air dengan prinsip gaya sentrifugal. Karena memiliki keuntungan antara lain strukturnya sederhana, biayanya rendah, kapasitasnya besar dengan luas lahan yang kecil, dan mudah dalam pemeliharaan sehingga *hydrocyclone* banyak digunakan di industri (Sripriya *et al.*, 2007). Dari banyaknya keunggulan yang diperoleh, maka *hydrocyclone* ini diharapkan dapat diterapkan sebagai *pre-treatment* pengolahan air bersih. Namun untuk menghasilkan air bersih yang layak untuk digunakan tentu alat ini membutuhkan pengolahan tambahan, misalnya dengan filter. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Shut *et al.* (1975) didapatkan hasil bahwa *hydrocyclone* memiliki efisiensi removal Total Solid sebesar 25%. Namun efisiensi tersebut dapat berubah dengan memodifikasi bentuk reaktor.

Hydrocyclone terdiri dari bagian silinder dan bagian *cone*. Silinder berperan dalam menciptakan gaya sentrifugal karena melekat langsung dengan pipa inlet. Sedangkan bagian *cone* merupakan bagian yang berpengaruh dalam *hydrocyclone* karena dengan memodifikasi bagian *cone* pada *hydrocyclone* dapat mengubah *performance* dari unit tersebut (Rushton *et al.*, 2000). Besar sudut *cone* sangatlah penting karena mempengaruhi efisiensi pemisahan salah satunya dikarenakan waktu tinggalnya.

Sehingga efisiensi akan berubah apabila besar sudut *cone* berubah (Jun *et al.*, 2009). Dengan memvariasikan kemiringan dan panjang *cone*, dapat diperoleh peningkatan kapasitas dan efisiensi pemisahan pada *hydrocyclone* (Olson, 2000).

Selain melalui modifikasi bentuk, proses operasi juga mempengaruhi efisiensi. *Hydrocyclone* mempunyai prinsip kerja menggunakan gaya sentrifugal yang dipengaruhi massa partikel dan kecepatan putaran, sehingga perbedaan tekanan akan berpengaruh pada kinerja alat tersebut. Menurut Saidi *et al.* (2013) tekanan yang terjadi di dalam *hydrocyclone* dapat mempengaruhi efisiensi.

Pada penelitian ini, akan dilakukan pengujian terhadap perbedaan panjang *cone* dan tekanan pada *hydrocyclone* untuk menurunkan TSS pada air baku. Parameter TSS dan kekeruhan adalah yang digunakan karena fungsi dari *hydrocyclone* adalah memisahkan partikel dengan cairan. Dengan penelitian tersebut diharapkan diperoleh variasi panjang *cone* dan tekanan yang optimum pada *hydrocyclone*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa efisiensi penurunan TSS pada *hydrocyclone* dengan variasi panjang *cone* dan variasi tekanan?
2. Bagaimanakah variasi panjang *cone* yang optimum pada *hydrocyclone* dalam menurunkan TSS?
3. Bagaimanakah variasi tekanan yang optimum pada *hydrocyclone* dalam menurunkan TSS?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh efisiensi penurunan TSS pada *hydrocyclone* dengan variasi panjang *cone* dan variasi tekanan.

2. Mengetahui variasi panjang *cone* yang optimum pada *hydrocyclone* dalam menurunkan TSS.
3. Mengetahui variasi tekanan yang optimum pada *hydrocyclone* dalam menurunkan TSS.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

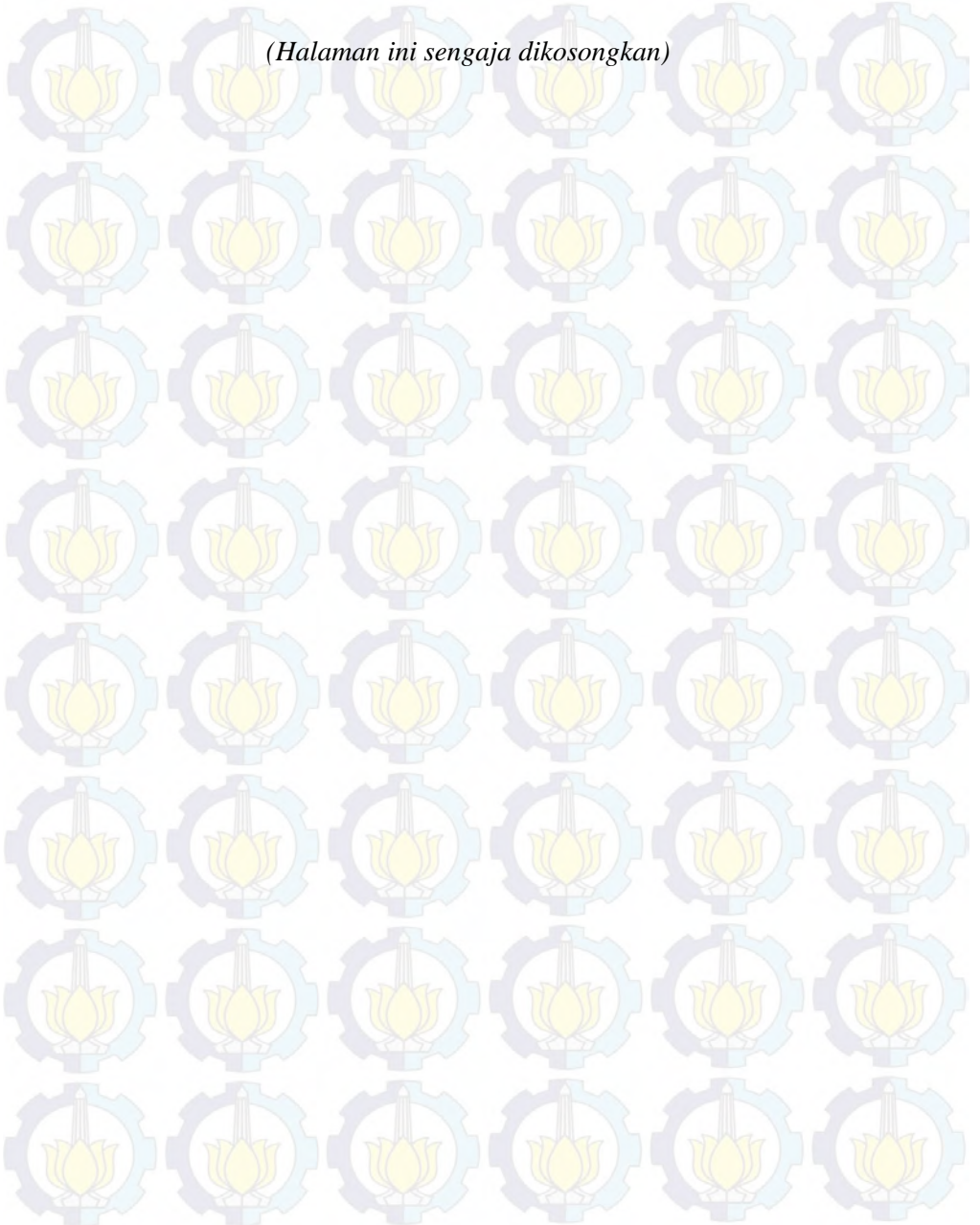
1. Memberikan data hasil penelitian tentang *hydrocyclone* yang dapat digunakan sebagai literatur.
2. Memberikan sebuah alternatif proses *pre-treatment* pengolahan air bersih.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Air sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang berasal dari Kali Surabaya.
2. Air sampel yang digunakan dalam penelitian ini akan ditampung menggunakan reaktor buatan sebagai implementasi dari *hydrocyclone*.
3. Lokasi penelitian ini dilakukan di Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
4. Variasi yang digunakan adalah panjang *cone* dan tekanan di dalam *hydrocyclone*.
5. Parameter yang diuji adalah TSS (*Total Suspended Solid*) dan kekeruhan.
6. Titik sampling yang akan dilakukan untuk analisa terletak pada bagian inlet dan outlet *hydrocyclone*.
7. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dan analisis dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Hydrocyclone*

Pemisah antara partikel padat dengan cair merupakan unit operasi yang sangat dibutuhkan dalam kegiatan pengguna teknologi pemisahan mekanis seperti pertambangan dan industri kimia. Perangkat yang biasa digunakan yaitu filter, *centrifuge*, dan *hydrocyclone*. Pada *centrifuge* dibutuhkan kecepatan putaran tinggi untuk pemisahan sehingga dibutuhkan energi masuk yang sangat besar pula, sedangkan *hydrocyclone* lebih ekonomis karena tidak dibutuhkan energi sebesar *centrifuge* untuk mengatasi *pressure drop* sehingga pemisahan dapat terjadi (Motsamai, 2010)

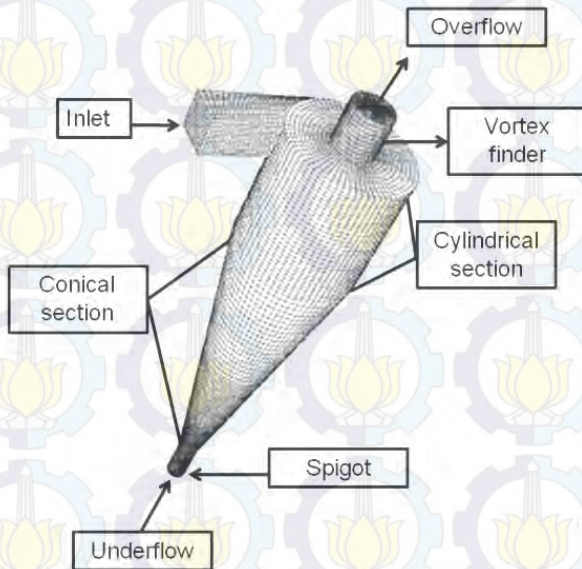
Hydrocyclone, yang juga dikenal sebagai *liquid cyclone*, adalah sebuah alat untuk memisahkan *solid-liquid* yang tersuspensi. Prinsip kerjanya dengan sedimentasi secara sentrifugal, partikel tersuspensi diperlakukan gaya sentrifugal, sehingga menyebabkan partikel tersebut terpisahkan dari air. Seperti *centrifuge*, yang menggunakan prinsip yang sama, pemasangan *hydrocyclone* mudah, tidak menghabiskan biaya yang banyak, serta mudah dioperasikan. Oleh karena itu alat ini banyak digunakan pada industri pertambangan, kimia, perminyakan, tekstil, dan metal (Vieira *et al.*, 2005).

Karena memiliki keuntungan antara lain strukturnya sederhana, biayanya rendah, kapasitasnya besar dengan luas lahan yang kecil, dan mudah dalam pemeliharaan sehingga *hydrocyclone* banyak digunakan di industri (Sripriya *et al.*, 2007). *Hydrocyclone* juga mampu beroperasi pada temperatur tinggi bila bahannya dari logam, sedangkan kelemahannya adalah efisiensi pengumpulan rendah karena hanya mampu meremoval partikel yang berukuran $>5\mu\text{m}$ (Cooper and Alley, 1986).

2.1.1 Bagian-bagian pada *Hydrocyclone*

Hydrocyclone terdiri dari sebuah silinder yang biasa disebut *barrel* dan sebuah kerucut yang biasa disebut dengan *cone* (Rushton *et al.*, 2000). Bagian-bagian pada *hydrocyclone* dapat dilihat pada Gambar 2.1. Pada intinya, *Hydrocyclone* terdiri dari tiga bagian yaitu:

1. Badan berbentuk silinder vertikal dengan bagian bawah berbentuk corong (*conical*)
2. Pipa inlet tangensial fluida
3. Pipa outlet pada bagian bawah untuk mengeluarkan partikulat hasil pemisahan yang disebut *underflow*, dan pipa outlet pada bagian atas untuk mengalirkan air bersih yang disebut *overflow* (Sriyono, 2012).

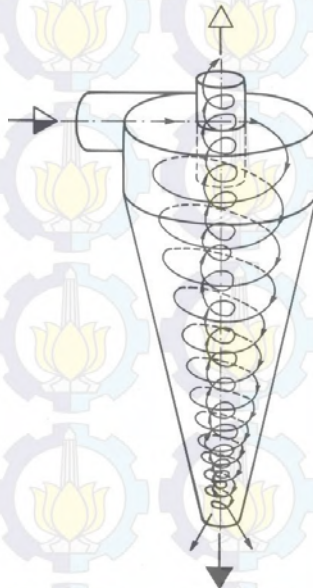


Gambar 2.1 Bagian-bagian pada *Hydrocyclone*
(Sumber: Soccol, 2007)

Hydrocyclone terdiri dari bagian yang berbentuk kerucut, yang melekat pada silinder yang memiliki inlet tangensial sebagai masuknya suspensi. Pada bagian bawah *hydrocyclone* terdapat lubang sebagai tempat keluar konsentrat dan di bagian paling atas *hydrocyclone* terdapat pipa sebagai tempat keluar air yang bersih (Soccol, 2007) seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.

2.1.2 Mekanisme Kerja

Prinsip operasi *hydrocyclone* sama dengan *centrifuge* yaitu tergantung pada gaya sentrifugal. Pada *hydrocyclone*, zat cair dimasukkan ke sebuah *cone* menghasilkan kecepatan tangensial (Rushton *et al.*, 2000). Aliran memutar yang terjadi di dalam *hydrocyclone* membentuk gaya sentrifugal sehingga mempermudah pemisahan akibat adanya perbedaan densitas (Saidi *et al.*, 2013). Lintasan aliran dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Lintasan Aliran di Dalam *Hydrocyclone*
(Sumber: Soccol, 2007)

Prinsip kerja dari *hydrocyclone* adalah sebagai berikut :

1. Fluida diinjeksikan melalui pipa input, fluida memasuki silinder dengan cara tangensial.
2. Bentuk kerucut *hydrocyclone* menginduksikan aliran fluida untuk berputar, menciptakan vortex.
3. Partikel dengan ukuran atau massa jenis yang lebih besar didorong ke arah luar vortex.
4. Gaya gravitasi menyebabkan partikel-partikel tersebut jatuh ke sisi kerucut menuju tempat pengeluaran
5. Partikel dengan ukuran atau kerapatan yang lebih kecil keluar melalui bagian atas dari *hydrocyclone* melalui pusat yang bertekanan rendah.
6. *Hydrocyclone* membuat suatu gaya sentrifugal yang berfungsi untuk memisahkan padatan.

Gaya sentrifugal timbul saat padatan di dalam fluida masuk ke puncak kolektor silindris pada suatu sudut dan diputar dengan cepat mengarah ke bawah seperti pusaran air. Aliran fluida mengalir secara melingkar dan partikel yang lebih berat mengarahkan ke bawah setelah menabrak ke arah dinding *hydrocyclone* dan meluncur ke bawah dan keluar di *underflow*. Di dekat dasar *hydrocyclone*, air bergerak berbalik arah ke atas dalam bentuk spiral dan keluar dari bagian *overflow* (Wang, 2004).

Vortex yang juga dikenal sebagai pusaran adalah aliran air yang dapat terjadi akibat dari aliran rotasional. Vortex digambarkan sebagai pusaran air yang bergerak berputar terhadap sumbu vertikal. Aliran vortex dapat berupa aliran vortex paksa atau aliran vortex bebas, tergantung pada ada tidaknya gaya yang bekerja membentuk aliran vortex (Ridwan *et al.*, 2002). Ketika air dalam tabung diputar maka akan bekerja gaya-gaya:

1. Gaya gravitasi

Gaya ini dipengaruhi berat partikel. Besarnya gaya gravitasi dapat diperoleh dengan rumus:

$$F = m \cdot g \quad (1)$$

Dimana:

F = gaya gravitasi (g m/s^2)

m = massa partikel (g)

g = percepatan gravitasi (m/s^2) = $9,8 \text{ m/s}^2$

2. Gaya sentrifugal

Arah gaya ini menjauhi pusat putaran. Besarnya gaya sentrifugal dapat diperoleh dengan rumus:

$$F_c = m \cdot a_c \quad (2)$$

Atau dapat ditulis

$$F_c = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (3)$$

Dimana:

F_c = gaya sentrifugal (g rad/s^2)

m = massa partikel (g)

a_c = percepatan sudut (rad/s^2)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

jika $\omega = \frac{v}{r}$, maka:

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (4)$$

Dimana:

v = kecepatan tangensial (m/s)

r = jarak partikel dari pusat putaran (m)

Bekerjanya gaya selain gaya gravitasi pada air dalam tabung menghasilkan aliran vortex yang dikenal sebagai vortex paksa (Coulson, 1993).

2.1.3 Parameter Penting

Ada beberapa parameter penting dalam mengoptimasi kinerja *hydrocyclone*. Parameter-parameter penting tersebut adalah struktur, operasional, dan fisik.

2.1.3.1 Struktur

Parameter struktur mencakup inlet, silinder, *cone*, dan *underflow*. Struktur inlet yang umum digunakan adalah tangensial

inlet seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Fluida yang masuk *hydrocyclone* akan memiliki gaya sentrifugal yang diciptakan dengan bantuan tangensial inlet (Jun *et al.*, 2009). Struktur silinder juga berperan sebagai bagian pra-pemisahan. Menurut Delgadilo dan Rajamani (2006) bagian silinder berkaitan dengan waktu tinggal bagi partikel untuk mengalami gaya sentrifugal, sehingga partikel kasar akan menuju ke arah dinding *hydrocyclone*. Struktur tersebut mengubah gerakan fluida yang awalnya linear menjadi gerakan angular sehingga dapat tercipta kecepatan sentrifugal (Jun *et al.*, 2009).



Gambar 2.3 Tangensial Inlet pada *Hydrocyclone*
(Sumber: Wang 2004)

Struktur *cone* terdiri dari banyaknya *cone* dan besar sudut *cone*. Banyaknya *cone* disesuaikan dengan fungsi *hydrocyclone*, yaitu *single cone* atau *double cone*, namun umumnya digunakan *single cone*. Besar sudut *cone* sangatlah penting karena mempengaruhi efisiensi pemisahan salah satunya dikarenakan waktu tinggalnya. Efisiensi akan berubah apabila besar sudut *cone* berubah (Jun *et al.*, 2009). Menurut Rushton *et al.* (2000) efisiensi pada *hydrocyclone* dapat ditingkatkan salah satunya dengan mengubah sudut *cone*. Dengan memvariasikan kemiringan dan panjang *cone*, dapat diperoleh peningkatan kapasitas dan efisiensi pemisahan pada *hydrocyclone*. Bila diameter *cone* diturunkan maka gaya sentrifugal meningkat (Olson, 2000). *Cone* menyebabkan aliran tertarik ke bawah, selanjutnya membentuk pusaran yang mengalir ke atas di pusat pusaran *hydrocyclone* (Delgadilo dan Rajamani, 2006).

Struktur *underflow* dipengaruhi dari ukuran partikel yang akan dipisahkan. Dengan memperbesar diameter *underflow* akan

meningkatkan kapasitas partikel padat yang keluar dari *hydrocyclone*, namun akan memperkecil *cut size* (Jun *et al.*, 2009). Menurut Saengchan *et al.* (2009) dalam Ghodrat *et al.* (2012) kecepatan radial partikel akan besar dengan memperkecil diameter spigot (pipa *underflow*). Namun apabila pipa *overflow* ditutup yang terjadi adalah ketika jumlah solid mencapai batas maksimum akan muncul gangguan (Jun *et al.*, 2009).

Besar kecilnya ukuran struktur inlet mempengaruhi debit aliran di *hydrocyclone* yang dapat dihitung dengan rumus:

$$Q = v/A \quad (5)$$

Sehingga dapat dihitung besarnya kecepatan aliran dengan:

$$v = \frac{4Q}{\pi \cdot di^2} \quad (6)$$

Dimana :

- Q = debit aliran (m³/s)
- v = kecepatan aliran (m/s)
- di = diameter pipa (m)

2.1.3.2 Fisik

Proses pemisahan 2 fase dengan menggunakan *hydrocyclone* mempertimbangkan efek dari temperatur, viskositas fluida, debit, ukuran partikel, dan parameter lain (Souza *et al.*, 2012). Parameter fisik terdiri dari konsentrasi massa padatan yang terkandung dalam fluida yang masuk, ukuran partikel padatan, viskositas, dan densitas. Densitas partikel yang akan dipisahkan harus lebih besar daripada fluida. Perubahan densitas dapat mengakibatkan gangguan pada *hydrocyclone* (Jun *et al.*, 2009). Pada *hydrocyclone* yang sama, perubahan viskositas fluida dan densitas partikel akan berubah pula efisiensinya. Dengan memperbesar ukuran partikel solid maka akan meningkatkan efisiensi pemisahan (Marinuc dan Rus, 2011). Hal ini dapat terjadi berdasarkan Hukum Stokes, diameter partikel berbanding lurus dengan kecepatan pengendapan (Kurniawan, 2012). Menurut Ghodrat *et al.* (2012) dengan memperbesar konsentrasi massa padatan yang terkandung dalam fluida yang masuk akan menurunkan efisiensi.

Menurut Kasel (2000), kondisi fisik fluida mempengaruhi kecepatan pengendapan sentrifugal suatu *hydrocyclone*. Kecepatan pengendapan di dalam *hydrocyclone* dapat dihitung dengan:

$$Vt = \frac{Vc^2 D^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu r} \quad (7)$$

Dimana :

Vt = kecepatan pengendapan (m/s)

Vc = kecepatan tangensial (m/s)

D = diameter partikel (m)

ρ_p = densitas partikel (kg/m^3)

ρ = densitas liquid (kg/m^3)

μ = viskositas liquid (kg/m/s)

r = jari-jari *hydrocyclone* (m)

Sedangkan menurut Lin *et al.* (2008) selain kecepatan pengendapan, kondisi fisik fluida juga mempengaruhi bilangan Reynold aliran yang masuk ke *hydrocyclone* yang dapat dihitung dengan rumus:

$$Re = \frac{U_{in} \cdot b}{\vartheta} \quad (8)$$

Dimana :

Re = Bilangan Reynold

U_{in} = kecepatan inlet (m/s)

b = lebar inlet (m)

ϑ = viskositas fluida (m^2/s)

2.1.3.3 Operasional

Parameter operasional yang penting pada *hydrocyclone* yaitu tekanan. Menurut Jun *et al.* (2009) dalam mengoperasikan *hydrocyclone* dibutuhkan tekanan yang konstan sebab adanya perubahan tekanan dapat menurunkan efisiensi pemisahan. Pengoperasian tekanan tinggi akan meningkatkan efisiensi pemisahan, dapat terindikasi adanya kemungkinan bahwa partikel kecil akan keluar melalui *underflow* (Hsu, *et al.* 2011). Semakin

besar kecepatan inlet maka akan semakin besar efisiensi *hydrocyclone* untuk menciptakan kecepatan inlet yang besar dibutuhkan tekanan (Kurniawan, 2012).

2.1.4 Penentuan Dimensi

Umumnya kemampuan *hydrocyclone* di lapangan tidak memberikan pengaruh yang signifikan untuk mereduksi partikel diskrit. Hal ini diakibatkan tidak diketahuinya pendekatan terbaik dalam menentukan dimensi dan efisiensi *hydrocyclone* sesuai dengan besar laju aliran fluida yang masuk (Kurniawan, 2012).

Pada industri pertanian terdapat 3 desain *hydrocyclone* yang sering digunakan yaitu 1D2D, 2D2D dan 1D3D. D memiliki arti diameter *barrel* pada *hydrocyclone*. 2D2D berarti panjang *barrel* dan panjang *cone* adalah 2 kali diameter *hydrocyclone*, sedangkan 1D3D berarti panjang *barrel* sama dengan diameter *hydrocyclone* dan panjang *cone* sama dengan tiga kali diameter *hydrocyclone*. 1D2D adalah panjang *barrel* sama dengan diameter *hydrocyclone* dan panjang *cone* 2 kali diameter *hydrocyclone* (Wang, 2000).

Dua komponen utama yang harus diperhitungkan untuk mendesain *hydrocyclone* yaitu dimensi dan efisiensi. Dimensi dihitung terlebih dahulu sehingga efisiensi dapat diperoleh secara keseluruhan (Kurniawan, 2012). Menurut Wang (2004) dimensi *hydrocyclone* dapat dihitung dari diameter *hydrocyclone* dengan cara membandingkan dengan diameter *hydrocyclone* itu sendiri seperti pada Gambar 2.4.

Setelah dimensi ditentukan maka dapat diperkirakan diameter partikel yang dapat tersisihkan 50% dengan menggunakan rumus:

$$D_{50} = 4,5 \cdot \left(\frac{D_c^3 \mu}{L^{1,2} (\rho_s - \rho_L)} \right) \quad (9)$$

Dimana :

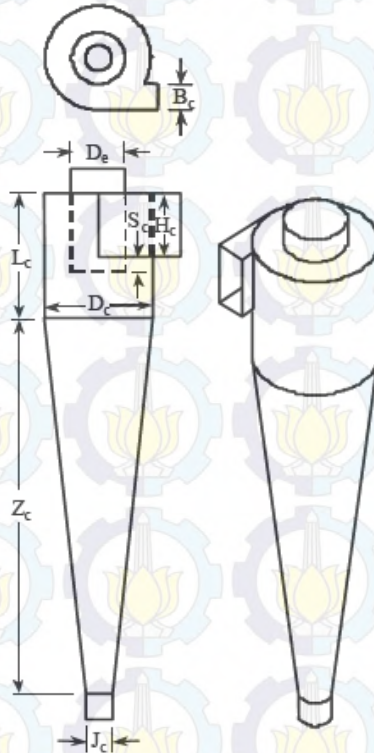
D_{50} = diameter partikel yang tersisihkan 50% (μm)

D_c = diameter *hydrocyclone* (cm)

μ = viskositas liquid (cP)

L = debit (L/menit)

ρ_L = densitas liquid (g/cm^3)
 ρ_s = densitas padatan (g/cm^3) (Coulson, 1986).



Gambar 2.4 Perhitungan Dimensi *Hydrocyclone*

$$D_c/B_c = 4$$

$$D_c/D_e = 2$$

$$L_c = D_c$$

$$D_c/Z_c = 3 \text{ atau } 2$$

(3 untuk 1D3D, 2 untuk 1D2D)

$$D_c/J_c = 4$$

$$H_c + S_c = 9D_c/8$$

Dimana :

D_c : diameter *hydrocyclone*

B_c : diameter inlet

D_e : diameter vortex *finder*

J_c : diameter *underflow*

L_c : panjang *barrel*

Z_c : panjang *cone*

$H_c + S_c$: tinggi vortex *finder*

2.2 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid merupakan salah satu parameter penting kualitas air karena dengan mengetahui TSS dapat diperkirakan besarnya kadar zat padat tersuspensi yang terkandung di dalam air yang dianalisa dengan metode gravimetri (Altunkaynak, 2010 dalam Yahyapour, *et al.*, 2013). Menurut Effendi (2000) TSS adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter $> 1 \mu\text{m}$) yang tertahan pada saringan miliopore dengan diameter pori $0.45 \mu\text{m}$. TSS terdiri dari lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik. Penyebab TSS di perairan yang utama adalah kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air. Konsentrasi TSS apabila terlalu tinggi akan menghambat penetrasi cahaya ke dalam air dan mengakibatkan terganggunya proses fotosintesis.

2.3 Kekeruhan

Kekeruhan merupakan suatu ukuran biasan cahaya dalam perairan. Kekeruhan bisa disebabkan partikel koloid yang tersuspensi. Kekeruhan dinyatakan dalam satuan unit turbiditas, yang setara dengan 1 mg/liter SiO_2 . Peralatan yang pertama kali digunakan untuk mengukur kekeruhan adalah *Jackson Candler Turbidimeter*, yang dikalibrasi dengan menggunakan silika. Pengukuran tersebut bersifat visual, yaitu membandingkan air sampel dengan air standar. Satu unit turbiditas *Jackson Candler Turbidimeter* dinyatakan dengan 1 JTU (Hadi, 2005). Selain menggunakan *Jackson Candler Turbidimeter*, kekeruhan sering diukur dengan metode Nephelometric. Satuan kekeruhan yang diukur dengan metode Nephelometric adalah NTU. Nilai kekeruhan 40 NTU setara dengan 40 JTU (Sawyer dan McCarty, 1978 dalam Hadi, 2005)

Turbidimeter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air, dengan satuan NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Alat ini bekerja berdasarkan pancaran cahaya yang dapat ditembus dalam media air. Semakin banyak cahaya yang terpantul atau menyebar semakin tinggi nilai kekeruhannya, maka nilai atau kualitas air jelek karena cahaya

yang dipancarkan terhalang oleh kotoran, dalam hal ini adalah flok atau gumpalan yang terbentuk dari kumpulan butiran-butiran lumpur (Arifiani dan Mochtar, 2006).

2.4 Karakteristik Kali Surabaya

Kali Surabaya merupakan anak sungai Kali Brantas yang berawal dari pintu air Dam Mlirip sampai dengan pintu air Jagir, yang merupakan sungai lintas kabupaten/kota. Kali Surabaya disamping memperoleh pasokan dari Kali Brantas, juga memperoleh pasokan debit dari Kali Marmoyo (Mojokerto), Kali Watudakon, Kali Tengah (Gresik) dan Kali Kedurus (Surabaya). Hingga saat ini, Kali Surabaya masih digunakan sebagai air baku PDAM Surabaya. Menurut Perum Jasa Tirta I (2009) berdasarkan hasil uji pada Agustus 2009 diperoleh bahwa ada beberapa zat yang terkandung dalam air di Kali Surabaya yakni pH (tingkat asam/basa) air masuk dalam kategori normal yakni dari standar 6-9 masih pada kisaran 6,6-7,1. Untuk *Dissolve Oxygen* (DO) dari standar maksimum 6 mg/l masih dalam batas normal, yakni 1,3-5,7 mg/l. *Biochemical Oksigen Demand* (BOD) dari standar maksimal 2-3 mg/l, diketahui melebihi batas baku mutu, yakni dari 4,7-7,8 mg/liter.

Untuk *Chemical Oksigen Demand* (COD) dengan standar maksimal 10 mg/l, diketahui mencapai 11,2-26,3 mg/l. *Total Suspended Solid* (TSS) mencapai 30-220 mg/l dari batas maksimal 50 mg/l. Sedangkan kandungan deterjen masih normal, yakni dari standar maksimal 0,2 mg/l, kini masih diketahui masih mencapai 0,015-0,090 mg/l dan untuk *total coli* dari standar maksimum 1000-5000 mg/l, diketahui mencapai mencapai 300-2200 mg/l.

2.5 Pompa

Pompa adalah mesin atau peralatan mekanis yang digunakan untuk menaikkan cairan dari posisi potensial rendah ke posisi potensial tinggi atau untuk mengalirkan cairan dari daerah bertekanan rendah ke daerah yang bertekanan tinggi dan juga

sebagai penguat laju aliran suatu sistem jaringan perpipaan. Hal ini dicapai dengan membuat suatu tekanan yang rendah pada sisi masuk atau suction dan tekanan yang tinggi pada sisi keluar atau discharge dari pompa (Pancoko dan Jami, 2011).

Pada prinsipnya, pompa mengubah energi mekanik motor menjadi energi aliran fluida. Energi yang diterima oleh fluida akan digunakan untuk menaikkan tekanan dan mengatasi tahanan-tahanan yang terdapat pada saluran yang dilalui. Pompa sentrifugal merupakan pompa yang sangat umum digunakan untuk pemompaan air dalam berbagai penggunaan industri (Pancoko dan Jami, 2011).

Pada saat pemilihan pompa sentrifugal, ada beberapa hal penting yang diperhatikan yaitu:

1. Kapasitas

Dinyatakan dalam satuan volume per waktu, misal: m³/detik, liter/detik, gpm, dan sebagainya. Yang dimaksud kapasitas pada suatu pompa adalah kemampuan pompa tersebut untuk mengalirkan/memindahkan sejumlah fluida dalam satuan kapasitas.

2. *Total Head* / Tekanan

Total head dinyatakan dalam satuan jarak, misal: meter, *feet*, dan lain-lain. Tekanan dinyatakan dalam satuan tekanan, misal: kg/cm², bar, dan lain-lain. Head sebuah pompa adalah energi mekanik yang dipakai dan diteruskan ke media yang ditangani, yang berhubungan dengan berat media, dinyatakan dalam satuan panjang. Head tidak tergantung dari berat jenis media, dengan kata lain sebuah pompa sentrifugal dapat menimbulkan head yang sama untuk jenis cairan. Tetapi berat jenis media akan menyebabkan tekanan pada pompa tersebut.

3. Jenis Cairan

Jenis dan data cairan sangatlah perlu dalam menentukan pemilihan pompa. Hal ini karena setiap cairan mempunyai berat jenis yang berbeda-beda yang akan berhubungan langsung dengan kebutuhan daya dari

penggerak. Makin tinggi viskositas suatu cairan maka akan mengakibatkan kapasitas pompa menurun, total head pompa menurun, efisiensi pompa menurun, dan daya yang dibutuhkan naik.

4. Penggerak

Pada dasarnya pompa memerlukan penggerak mula untuk menggerakkannya/mengoperasikan. Dalam pemilihan penggerak mula dari pompa tersebut maka keadaan setempat dan tersedianya sumber energi sangat mempengaruhi, dengan kata lain jika suatu daerah tidak terdapat sumber listrik dan tidak memungkinkan untuk diadakan sumber listriknya maka tidaklah mungkin kita memilih motor listrik sebagai penggerak mulanya. Sebagai contoh ditengah perkebunan yang luas maka kita dapat memilih motor diesel sebagai penggerak mulanya.

5. Pemasangan Pompa

Pemasangan pompa secara seri atau paralel akan didapatkan kurva yang berbeda (Pancoko dan Jami, 2011).

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Soccol dan Botrel (2004) digunakan *hydrocyclone* dengan diameter 50 mm, dengan debit 1.160 liter/jam hingga 2.600 liter/jam dan kecepatan inlet 2 m/s. Penelitian dilakukan pada kisaran suhu 21⁰C-22⁰C dan menggunakan 2 variasi kandungan inlet yaitu pasir dan tanah. Dari hasil penelitian didapatkan efisiensi penyisihan suspensi pasir sebesar 80,13% dan suspensi tanah sebesar 30,87%.

Al-Fatlawi dan Al-Hasimi (2013) melakukan penelitian dengan menggunakan *hydrocyclone* berdiameter 85 mm dengan panjang total 510 mm. Debit yang digunakan adalah 50 liter/menit dengan tekanan 150.000 Pascal. Kekeruhan air baku sebesar 300 NTU dapat di removal menjadi 143 NTU pada *overflow*, efisiensinya sebesar 52,33%. Dan TSS inlet sebesar

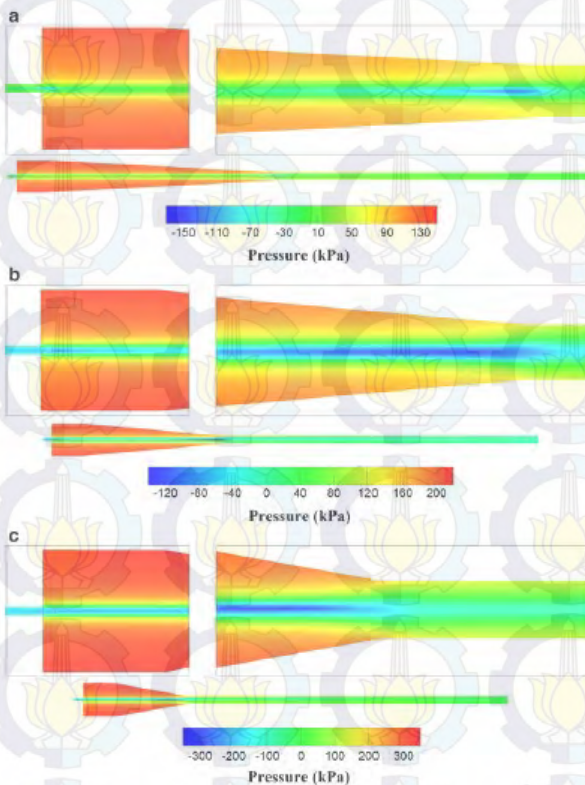
1180 mg/L dapat diremoval menjadi 964 mg/L, efisiensinya sebesar 18,3%.

Souza *et al.* (2012) berpendapat bahwa *pressure drop* dibutuhkan untuk menggerakkan air/minyak ke *hydrocyclone*. Performance dicapai dengan perbedaan tekanan antara yang masuk dan *overflow*. Dalam percobaannya digunakan kecepatan inlet 20 m/s dan ukuran partikel minyak 40 μm , dan sebagai variabel adalah suhu 20°C dan 100°C. Hasil dari percobaan adalah bahwa suhu inlet yang tinggi dapat menyebabkan menurunnya turun tekanan, sehingga dengan meningkatkan temperatur inlet maka lebih sedikit energi yang dibutuhkan untuk memompa air dalam *hydrocyclone*. Hal ini dapat terjadi karena suhu tinggi dapat menurunkan viskositas fluida, dengan menurunnya viskositas maka menurun juga gaya gesek antar partikel dengan dinding *hydrocyclone*.

Simulasi dilakukan oleh Saidi *et al.* (2013) dengan menggunakan *hydrocyclone* berdiameter 35 mm dengan 3 sudut *cone* yang berbeda yaitu 6°, 10° dan 20°. Angka tersebut menunjukkan bahwa perubahan pada sudut *cone* mempengaruhi distribusi kecepatan dan tekanan di dalam *hydrocyclone*, dan dapat mengubah efisiensi pemisahan. Didapatkan distribusi tekanan di dalam *hydrocyclone* dapat dilihat pada Gambar 2.5, gradient tekanan pada *hydrocyclone* dengan sudut *cone* 6° adalah 290 kPa, 10° adalah 360 kPa, dan 20° adalah 640 kPa.

Pada penelitian yang dilakukan Indriani dan Nobelia (2012) dilakukan variasi terhadap kecepatan putaran dan penambahan lumpur pada pengendap berputar untuk penyisihan kekeruhan. Variasi kecepatan pada penelitian tersebut adalah 0 rpm, 4 rpm, 6 rpm, 8 rpm, 13 rpm, dan 20 rpm. Sedangkan variasi penambahan lumpurnya adalah 5 mg/l, 10 mg/l, 15 mg/l, dan 20 mg/l. Hasil dari penelitian tersebut adalah semakin besar kecepatan dan penambahan lumpur maka semakin baik efisiensinya. Hasil tersebut sesuai dengan menurut Huisman (1974) bahwa putaran pada proses pengendapan mampu meningkatkan efisiensi penyisihan kekeruhan. Hal ini terjadi

karena putaran pada proses pengendapan menyebabkan gaya tangensial di dalam air. Partikel bertemu satu dengan yang lainnya dan bergabung pada saat mengendap, sehingga kecepatan mengendap partikel yang telah bergabung meningkat. Kontak antar partikel ini disebabkan oleh perbedaan kecepatan pengendapan partikel dimana partikel yang besar dan mengendap lebih cepat bertemu dengan partikel yang kecil dengan kecepatan mengendap yang kecil, dan akibat adanya Gerak Brown.



Gambar 2.5 Gradient tekanan pada (a) 6° , (b) 10° , dan (c) 20°
(Sumber: Saidi *et al.*, 2013)

BAB 3

METODE PENELITIAN

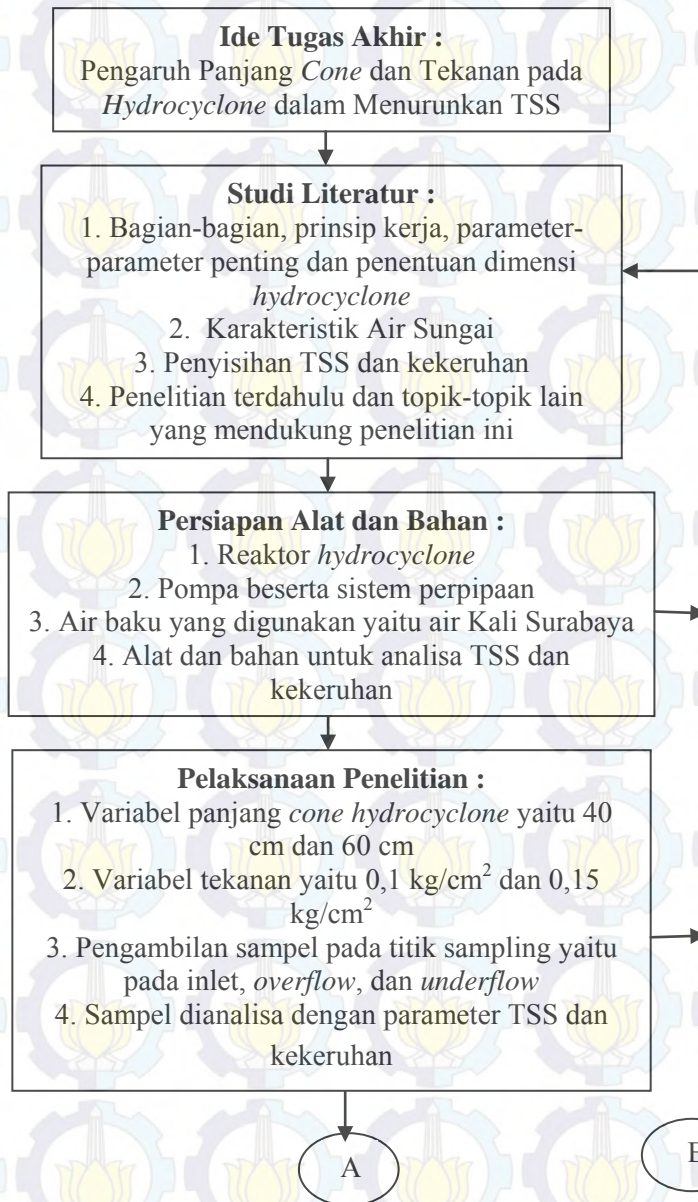
3.1 Kerangka Penelitian

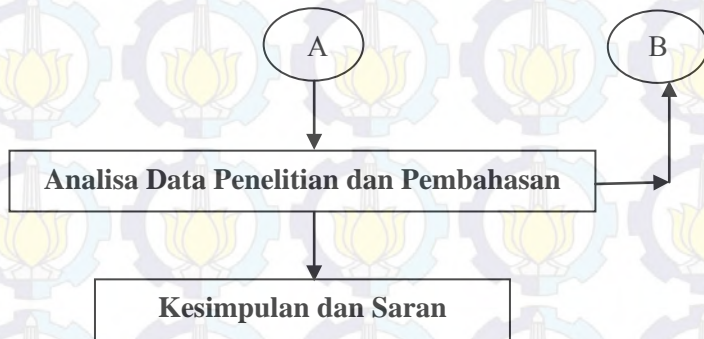
Dalam pengolahan air, *hydrocyclone* memiliki fungsi memisahkan partikel dengan air. Dilakukan penelitian pada *hydrocyclone* mengenai pengaruh panjang *cone* dan tekanan. Terjadinya proses pemisahan partikel dengan air dapat ditunjukkan melalui nilai TSS dan kekeruhannya sehingga dapat diperoleh efisiensi masing-masing variasi. Sebelum melakukan penelitian, dibuat metode penelitian. Metodologi penelitian merupakan acuan dalam melaksanakan aktivitas penelitian, yang disusun berdasarkan pada ide pemikiran dan langkah-langkah yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Dengan mengikuti langkah-langkah pada metodologi penelitian, diharapkan penelitian berjalan lebih sistematis, terarah serta mengurangi terjadinya kesalahan dalam pelaksanaan.

Kerangka penelitian merupakan diagram alir yang disusun dengan menggambarkan langkah-langkah yang akan dilaksanakan. Kerangka penelitian ini disusun dengan tujuan yaitu:

1. Sebagai gambaran awal mengenai tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan sehingga mempermudah dalam memahami.
2. Mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian.
3. Memperkecil kesalahan selama penelitian karena disusun secara detail dan rinci.

Kerangka penelitian tentang pengaruh panjang *cone* dan tekanan pada *hydrocyclone* dalam menurunkan TSS dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian berisi tentang langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini. Tahapan penelitian meliputi: ide tugas akhir, studi literatur, persiapan alat dan bahan, pelaksanaan penelitian, prosedur operasi, analisa data dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

3.2.1 Ide Tugas Akhir

Ide Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh panjang *cone* dan tekanan pada *hydrocyclone* dalam menurunkan TSS.

3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur dibutuhkan dari awal hingga akhir penelitian. Studi literatur dilaksanakan untuk menunjang penelitian yang akan dilakukan, dengan cara mengumpulkan dan mempelajari informasi-informasi yang mendukung penelitian. Pada tahap analisa data dan pembahasan, studi literatur dapat menunjang penelitian agar semakin terarah dan mempunyai pedoman dalam pembuatan pembahasan sehingga dapat diperoleh kesimpulan penelitian.

Sumber literatur meliputi diktat, buku referensi, jurnal, artikel, laporan penelitian, tugas akhir, tesis dan disertasi. Studi

literatur yang dikumpulkan sesuai dengan penelitian yang dibahas, dalam penelitian ini misalnya mengenai *hydrocyclone*, penentuan dimensi *hydrocyclone*, pengaruh panjang *cone* serta tekanan pada *hydrocyclone*. Keterbaruan sumber literatur juga perlu diperhatikan.

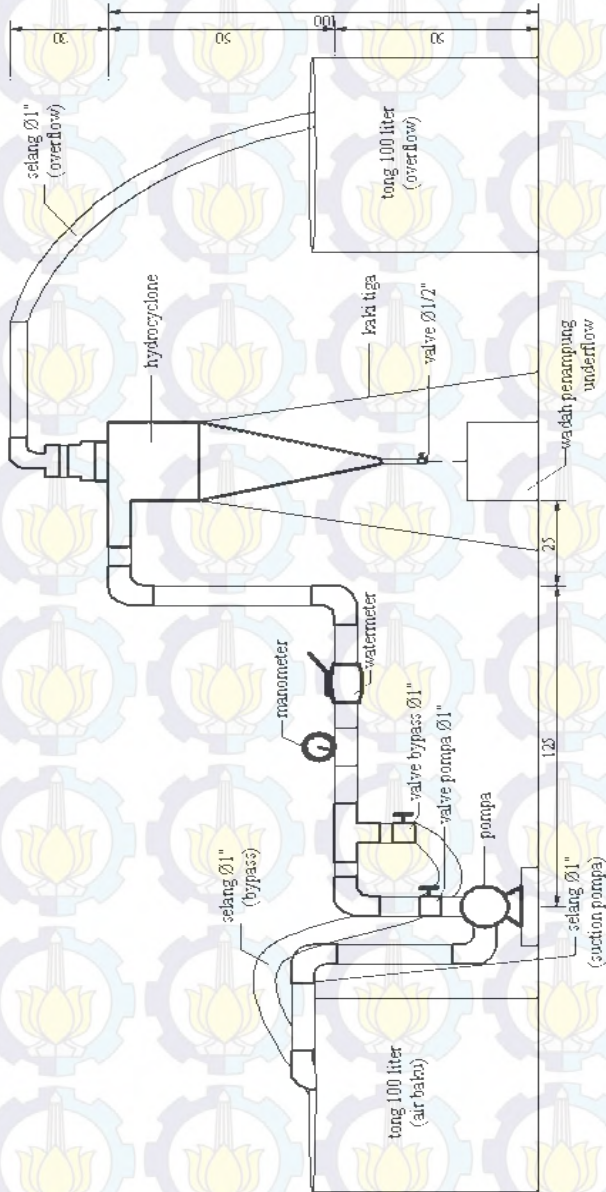
3.2.3 Persiapan Alat dan Bahan

Terdapat beberapa alat dan bahan yang perlu dipersiapkan, antara lain reaktor *hydrocyclone*, peralatan pelengkap perpipaan, dan sampel yang digunakan.

3.2.3.1 Reaktor *Hydrocyclone*

Reaktor *hydrocyclone* yang digunakan sebanyak 1 unit silinder berdiameter 20 cm dan 2 unit *cone* masing-masing memiliki panjang 40 cm dan 60 cm. Kombinasi penggunaan reaktor disesuaikan dengan variabel yang digunakan karena masing-masing memiliki *flange* untuk melepas ataupun memasang. Reaktor terbuat dari bahan plat besi dengan ketebalan 3 mm. Bahan ini sangat tebal dan kuat sehingga mampu menahan tekanan air masuk. Rangkaian reaktor yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Sebuah reaktor *hydrocyclone* terdiri dari pipa inlet dan *vortex finder* (pipa keluar *overflow*) yang melekat pada silinder, silinder, pipa *underflow* yang melekat pada *cone*, dan *cone*. Pipa inlet berfungsi sebagai tempat masuknya air baku yang akan diolah dalam *hydrocyclone*. Silinder berfungsi sebagai pembuat aliran menjadi aliran vortex. *Cone* berfungsi sebagai pengubah aliran menjadi aliran axial agar air bersih dapat menuju outlet air (*overflow*). Sedangkan pipa *underflow* berfungsi untuk mengeluarkan partikel diskrit yang berhasil dipisahkan dari air. Pipa *overflow* berfungsi untuk mengeluarkan air bersih hasil olahan. Untuk hasil desain reaktor dapat dilihat pada Lampiran A.



Gambar 3.2 Rangkaian Reaktor

3.2.3.2 Peralatan Pelengkap

Pipa yang digunakan yaitu pipa PVC dengan ukuran $\frac{1}{2}$ " dan 1". Aksesoris pipa yang digunakan untuk merangkai alat pada penelitian ini yaitu selang berdiameter 1" dan $\frac{1}{2}$ ", valve berdiameter $\frac{1}{2}$ " (1 buah) dan 1" (2 buah), tee 1"x1", belokan, manometer, watermeter, dan sambungan-sambungan seperti shokdrat.

Dalam penelitian ini digunakan 1 buah pompa sentrifugal untuk memberikan tekanan kepada air yang masuk sehingga terbentuk aliran vortex. Air yang tertampung dalam tong dialirkan menuju *hydrocyclone* dengan menggunakan pompa. Pompa yang digunakan adalah Shimizu PS-128 BIT yang spesifikasinya dapat dilihat pada Lampiran B. Untuk menjaga agar tekanan yang dihasilkan tetap konstan maka perlu diperhatikan muka air baku agar selalu tetap yaitu 10 cm. Pada penelitian ini digunakan *bypass* untuk memperoleh tekanan yang dibutuhkan dengan memutar valve pada *bypass*.

Untuk menampung air baku dan air hasil olahan digunakan tong volume 100 liter. Pada penelitian ini juga dibutuhkan selang yang berfungsi untuk menyalurkan sedimen hasil *underflow* dan *overflow*. Untuk mengetahui tekanan yang masuk dan yang keluar dari reaktor dibutuhkan manometer sebanyak 1 buah. Untuk mengukur debit yang masuk digunakan meter air dan stopwatch. Agar reaktor dapat terus tegar, diperlukan kaki tiga sebagai penyangga.

3.2.3.3 Air Sampel

Air sampel yang digunakan merupakan air Kali Surabaya yang diambil di bagian dekat Terminal Joyoboyo.

3.2.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium di Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Reaktor dioperasikan selama 30 menit. Air sampel dialirkan secara kontinyu melalui pipa inlet. Tiap 1 putaran (30 menit), dilakukan pengambilan sampel pada

inlet, *overflow*, dan *underflow hydrocyclone* setiap 5 menit sekali selama beroperasi. Parameter TSS ini diamati untuk mengetahui besarnya *removal suspended solid* yang mampu dilakukan alat *hydrocyclone* tersebut. Analisa TSS dan kekeruhan dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Prosedur analisa parameter TSS dan kekeruhan dapat dilihat pada Lampiran C. Pada penelitian tugas akhir ini untuk pelaksanaan penelitiannya menggunakan dua variasi penelitian, yaitu panjang *cone* 40 cm dan 60 cm, sedangkan untuk tekanan di dalam *hydrocyclone* adalah $0,1 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,15 \text{ kg/cm}^2$. Untuk lebih memudahkan, variasi variabel-variabel yang diteliti maka dibuat suatu skema variasi penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variasi Penelitian

Tekanan	Panjang <i>cone</i>	40 cm (1)	60 cm (2)
	$0,1 \text{ kg/cm}^2$ (A)	A1	A2
	$0,15 \text{ kg/cm}^2$ (B)	B1	B2

3.2.5 Prosedur Operasi

Prosedur operasi *hydrocyclone* ini yaitu :

1. Menyalakan pompa sehingga air yang ada di tong air baku mengalir menuju reaktor.
2. Mengatur *valve* pada *by pass* hingga tekanan yang diinginkan terukur pada manometer.
3. Setelah tekanan yang diinginkan sesuai, diukur debit yang masuk ke reaktor dengan membaca volume (dalam satuan liter) yang tertunjuk pada jarum *watermeter* tiap menitnya. Pengukuran ini dilakukan dengan bantuan stopwatch.
4. Tunggu sampai air keluar dari pipa *overflow*, setelah itu biarkan beroperasi selama 3 menit agar stabil.

5. Melakukan pengambilan sampel pada inlet, *overflow*, dan *underflow* masing-masing setiap 5 menit.
6. Setelah 30 menit, mematikan pompa dan mengeluarkan seluruh air yang masih ada di dalam *hydrocyclone* melalui valve yang terdapat pada *underflow*.
7. Melakukan penggantian *cone* dengan variasi lain dengan cara memutar sekrup yang terdapat pada *flange* kemudian memasang *cone* dengan variasi lain.
8. Melakukan analisa TSS dan kekeruhan di laboratorium.

3.2.6 Analisa Data dan Pembahasan

Analisa data dan pembahasan dilakukan pada data yang telah diperoleh dari hasil pengukuran parameter TSS. Analisa data dan pembahasan dilakukan sesuai dengan dasar-dasar teori yang mendukung pada tinjauan pustaka yang berasal dari buku, jurnal, artikel, tugas akhir, thesis ataupun disertasi.

Dilakukan pengambilan sampel pada inlet dan outlet yaitu konsentrasi. Hasil analisa ditunjukkan dalam prosentase penurunan TSS ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Dengan melihat tabel dan grafik tersebut dapat dilihat besarnya efisiensi penurunan TSS serta pengaruh panjang *cone* dan tekanan di dalam *hydrocyclone* terhadap penurunan TSS. Setelah masing-masing variabel didapatkan hasil analisa selanjutnya dilakukan pembahasan.

3.2.7 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan berisi hasil yang diperoleh selama proses penelitian dilakukan. Isi kesimpulan dituliskan secara sebenarnya sesuai dengan hasil penelitian. Saran digunakan untuk menyempurnakan hasil analisa yang dilakukan sehingga penelitian ini bisa bersifat berkelanjutan.

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Air Baku

Penelitian ini menggunakan air baku yang berasal dari air Kali Surabaya yang berada di jalan Gunungsari lokasi pengambilan sampel yaitu di dekat terminal Joyoboyo. Kondisi air baku sangat keruh, memiliki rata-rata TSS sebesar 179,65 mg/l, dan rata-rata kekeruhan 153,47 NTU. Pada penelitian ini hanya dilakukan pengukuran terhadap parameter TSS dan kekeruhan karena *hydrocyclone* hanya dapat meremoval secara fisik saja, utamanya adalah TSS.

4.2 Unit *Hydrocyclone*

Hydrocyclone merupakan salah satu cara pemisahan zat padat dengan zat cair. Prinsip pemisahannya menggunakan gaya sentrifugal yang diperoleh dari tekanan yang diberikan oleh pompa dan struktur inletnya yang tangensial. *Hydrocyclone* yang digunakan berbahan plat besi berdiameter 20 cm, tinggi silinder 20 cm, diameter inlet 5 cm, diameter *overflow* 10 cm, dan diameter *underflow* 1,3 cm.

Pada penelitian ini dipilih 2 variasi tekanan yaitu sebesar 0,1 kg/cm² dan 0,15 kg/cm². Dan 2 variasi panjang *cone* yaitu sebesar 40 cm dan 60 cm. Titik-titik pengambilan sampel pada masing-masing variasi adalah sebagai berikut :

- a. Penelitian I : *Hydrocyclone* dengan variasi tekanan 0,1 kg/cm² dan panjang *cone* 40 cm, dilakukan pengambilan sampel pada:
 - Air baku (inlet) : pada menit ke-5, 10, 15, 20, 25, dan 30.
 - *Overflow* : pada menit ke-5, 10, 15, 20, 25, dan 30.
 - *Underflow* : pada menit ke-5, 10, 15, 20, 25, dan 30.

- b. Penelitian II : *Hydrocyclone* dengan variasi tekanan 0,15 kg/cm² dan panjang *cone* 40 cm, dilakukan pengambilan sampel pada:
- Air baku (inlet) : pada menit ke-5, 10, 15, 20, 25, dan 30.
 - *Overflow* : pada menit ke-5, 10, 15, 20, 25, dan 30.
 - *Underflow* : pada menit ke-5, 10, 15, 20, 25, dan 30.
- c. Penelitian II : *Hydrocyclone* dengan variasi tekanan 0,1 kg/cm² dan panjang *cone* 60 cm, dilakukan pengambilan sampel pada:
- Air baku (inlet) : pada menit ke-5, 10, 15, 20, 25, dan 30.
 - *Overflow* : pada menit ke-5, 10, 15, 20, 25, dan 30.
 - *Underflow* : pada menit ke-5, 10, 15, 20, 25, dan 30.
- d. Penelitian II : *Hydrocyclone* dengan variasi tekanan 0,15 kg/cm² dan panjang *cone* 60 cm, dilakukan pengambilan sampel pada:
- Air baku (inlet) : pada menit ke-5, 10, 15, 20, 25, dan 30.
 - *Overflow* : pada menit ke-5, 10, 15, 20, 25, dan 30.
 - *Underflow* : pada menit ke-5, 10, 15, 20, 25, dan 30.

4.3 Pengoperasian *Hydrocyclone*

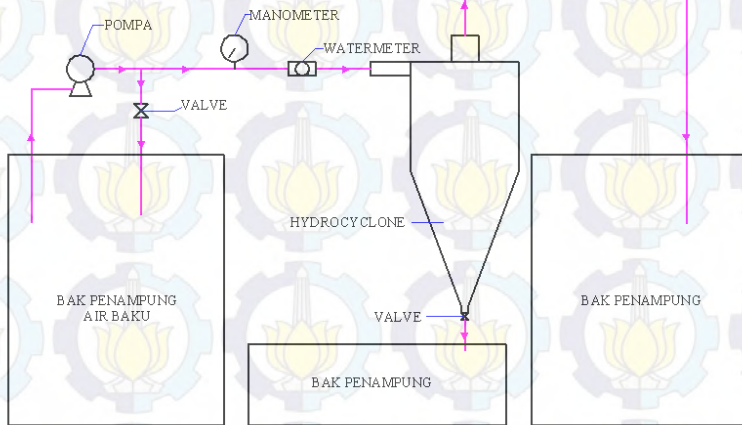
Pada penelitian I yang dilakukan yaitu penelitian terhadap *hydrocyclone* dengan panjang *cone* 40 cm dioperasikan dengan tekanan 0,1 kg/cm². Air baku yang digunakan yaitu air Kali Surabaya dimasukkan ke dalam reaktor dengan menggunakan pompa. Untuk mendapatkan tekanan 0,1 kg/cm² dilakukan pengaturan terhadap debit air yang masuk ke reaktor dengan

menggunakan *valve* yang terdapat pada percabangan *bypass*. Debit air yang masuk dapat terbaca pada dari volume yang ditunjukkan meter air pada 1 menit. Dari pengaturan debit tersebut, didapatkan debit air yang masuk sebesar ± 20 liter/menit untuk mencapai tekanan $0,1 \text{ kg/cm}^2$. *Hydrocyclone* dioperasikan selama 30 menit.

Pada *hydrocyclone* ini, air baku akan mengalir melalui inlet masuk ke dalam *hydrocyclone*. Air yang keluar dari *overflow* sebagai air yang lebih bersih sedangkan air yang keluar dari *underflow* sebagai endapannya. Secara kasat mata antara air yang masuk ke inlet, air yang keluar dari *overflow*, dan air yang keluar dari *underflow* sama-sama keruh. Penelitian terhadap parameter uji yaitu TSS dilakukan pada inlet, *overflow*, dan *underflow* masing-masing setiap 5 menit selama *hydrocyclone* beroperasi. Dari penelitian I ini didapatkan 18 sampel uji yang terdiri dari 6 sampel dari inlet, 6 sampel dari *overflow*, dan 6 sampel dari *underflow*. Analisa terhadap parameter uji dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air Teknik Lingkungan ITS, analisa parameter TSS dengan metode gravimetri.

Perlakuan yang sama dilakukan untuk penelitian II, III, dan IV. Pada penelitian II yaitu terhadap *hydrocyclone* dengan panjang *cone* 40 cm dioperasikan dengan tekanan $0,15 \text{ kg/cm}^2$ dibutuhkan debit air yang masuk sebesar ± 24 liter/menit. Pada penelitian III yaitu terhadap *hydrocyclone* dengan panjang *cone* 60 cm dioperasikan dengan tekanan $0,1 \text{ kg/cm}^2$ dibutuhkan debit air yang masuk sebesar $\pm 20,5$ liter/menit. Sedangkan pada penelitian IV yaitu terhadap *hydrocyclone* dengan panjang *cone* 60 cm dioperasikan dengan tekanan $0,15 \text{ kg/cm}^2$ dibutuhkan debit air yang masuk sebesar $\pm 24,5$ liter/menit.

Pada Gambar 4.1 merupakan skema reaktor *hydrocyclone* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4.1 Skema Reaktor *Hydrocyclone*

Dari ukuran *hydrocyclone* maka dapat dihitung luas permukaan melintang *hydrocyclone*:

$$\begin{aligned} A &= \pi(r_1^2 - r_2^2) \\ &= \pi(20^2 - 10^2)\text{cm}^2 \\ &= 942 \text{ cm}^2 = 0,0942 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Satuan debit dalam liter/menit dikonversikan ke dalam m^3/s sehingga didapatkan debit terkecil yaitu 20 liter/menit sama dengan $0,00033 \text{ m}^3/\text{s}$ dan debit terbesar yaitu 24,5 liter/menit sama dengan $0,000408 \text{ m}^3/\text{s}$. Selanjutnya *overflowrate hydrocyclone* dapat dihitung dengan:

- Debit terkecil

$$\begin{aligned} \text{overflow rate} &= \frac{Q}{A} = \frac{0,00033 \cdot \frac{3600 \text{ m}^3}{\text{jam}}}{0,0942 \text{ m}^2} \\ &= 12,744 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{jam} \end{aligned}$$

- Debit terbesar

$$\text{overflow rate} = \frac{Q}{A} = \frac{0,000408 \cdot \frac{3600 \text{ m}^3}{\text{jam}}}{0,0942 \text{ m}^2}$$

$$= 14,688 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{jam}$$

Sehingga dari hasil perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa *overflowrate hydrocyclone* ini sebesar 12,744 sampai dengan 14,688 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{jam}$. Ini menunjukkan bahwa *overflowrate hydrocyclone* sangat jauh lebih besar dari *overflowrate* prasedimentasi yang nilainya sebesar 0,85-2 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{jam}$. Hal tersebut berarti kapasitas pengolahan dengan menggunakan *hydrocyclone* jauh lebih besar daripada prasedimentasi.

Kecepatan putar lintasan dihitung menggunakan luas permukaan membujur *hydrocyclone*. Besarnya kecepatan putar lintasan dapat dihitung dengan:

- Debit terkecil

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,00033 \cdot \frac{3600 \text{ m}^3}{\text{jam}}}{0,05 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m}} = 118,8 \text{ m/jam}$$

- Debit terbesar

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,000408 \cdot \frac{3600 \text{ m}^3}{\text{jam}}}{0,05 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m}} = 146,88 \text{ m/jam}$$

Sehingga dari hasil perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa kecepatan putar lintasan *hydrocyclone* ini sebesar 118,8 sampai dengan 146,88 m/jam.

Nilai bilangan Reynold aliran yang masuk ke *hydrocyclone* dapat dihitung dengan rumus (8).

$$U_{in} = \frac{Q}{A} = \frac{0,00033 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 0,05^2 \text{ m}^2} = 0,042 \text{ m/s}$$

$Re = \frac{U_{in} \cdot b}{\eta}$, bila viskositas air pada suhu 30°C adalah $0,8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ maka

$$Re = \frac{0,042 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,05 \text{ m}}{0,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 2625$$

Aliran yang terjadi di dalam *hydrocyclone* merupakan aliran transisi karena nilainya $2000 < Re < 4000$.

Dengan menggunakan rumus (9) maka diperoleh diameter partikel yang dapat disisihkan sebesar 50% adalah:

$$\begin{aligned}
 D_{50} &= 4,5 \cdot \left(\frac{Dc^3 \mu}{L^{1,2}(\rho_s - \rho_L)} \right) \\
 &= 4,5 \cdot \left(\frac{20^3 \cdot 0,8}{20^{1,2}(2,65 - 1)} \right) \\
 &= 479,4 \text{ } \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

4.4 Kemampuan Penyisihan *Hydrocyclone* terhadap Parameter Uji TSS

Total Suspended Solid merupakan salah satu parameter penting kualitas air karena dengan mengetahui TSS dapat diperkirakan besarnya kadar zat padat tersuspensi yang terkandung di dalam air (Altunkaynak, 2010 dalam Yahyapour, *et al.*, 2013). Air baku yang digunakan yaitu Kali Surabaya yang memiliki rata-rata TSS sebesar 179,65 mg/l. Dalam penelitian ini didapatkan data mengenai besarnya nilai penyisihan TSS yang dihitung berdasarkan pengamatan TSS inlet dan TSS *overflow* dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{efisiensi penyisihan TSS} = \frac{(\text{TSS inlet} - \text{TSS overflow})}{\text{TSS inlet}} \times 100\%$$

4.4.1 *Hydrocyclone* dengan Panjang *Cone* 40 cm dan Tekanan 0,1 kg/cm²

Pada penelitian I ini didapatkan 6 data. Data-data yang telah diperoleh dihitung efisiensi penyisihannya kemudian dibandingkan dengan variasi lain. Hasil analisa yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

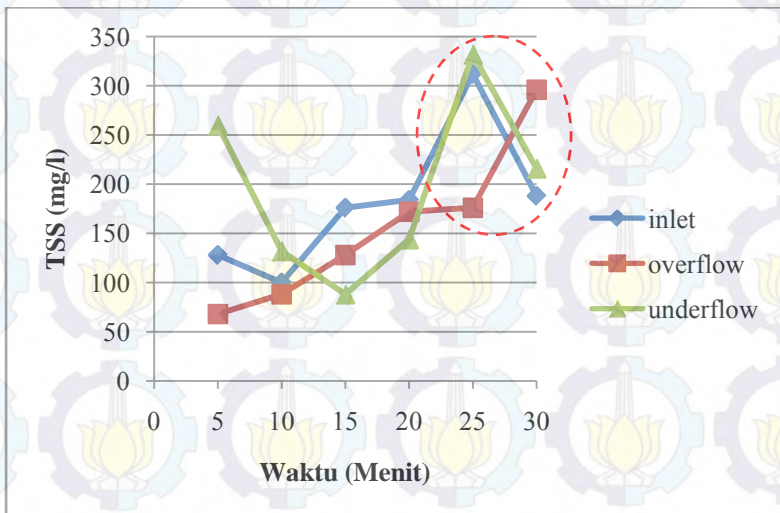
Tabel 4.1 Hasil Analisa TSS pada Penelitian I

Menit ke-	Debit inlet (l/menit)	TSS inlet (mg/l)	TSS <i>overflow</i> (mg/l)	TSS <i>underflow</i> (mg/l)	% penyisihan
5	20	128	68	260	46,9
10	21	100	88	132	12
15	20	176	128	88	27,3

Menit ke-	Debit inlet (l/menit)	TSS inlet (mg/l)	TSS <i>overflow</i> (mg/l)	TSS <i>underflow</i> (mg/l)	% penyisihan
20	20	184	172	144	6,5
25	21	312	176	332	43,6
30	20	188	296	216	-57,4

Sumber : Analisa Laboratorium

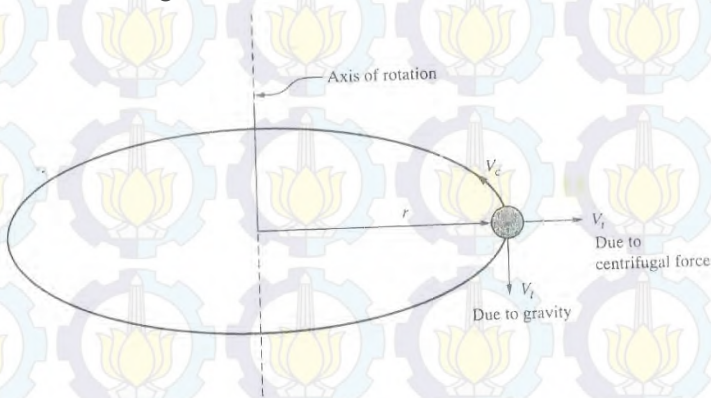
Berdasarkan data berupa Tabel 4.1, dapat diketahui bahwa rata-rata TSS inlet adalah 177,3 mg/l dan rata-rata TSS *overflow* adalah 153,3 mg/l. Sehingga dapat diperoleh rata-rata penyisihan TSS sebesar 13,54%. Dari Tabel 4.1 dan Gambar 4.2 didapatkan kualitas TSS *overflow* lebih baik daripada TSS inlet. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi proses penyisihan TSS di dalam *hydrocyclone*. Proses penyisihan tersebut dapat terjadi karena adanya gaya sentrifugal yang dimiliki oleh partikel.



Gambar 4.2 Grafik Penyisihan TSS pada Penelitian I

Menurut Kasel (2000) suatu partikel yang memasuki *hydrocyclone* memiliki massa (m) dan kecepatan (v), partikel tersebut akan bergerak mengitari dinding *hydrocyclone* dengan jarak r sehingga memiliki gaya sentrifugal yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Adanya gaya sentrifugal dapat menyebabkan partikel padat terlempar ke dinding, kehilangan energi, dan jatuh ke bawah menuju *underflow* akibat gaya gravitasi (Marinuc dan Rus, 2011). Dari persamaan (4) dapat diketahui bila partikel yang memiliki densitas yang lebih besar dari air akan memiliki gaya sentrifugal yang lebih besar daripada partikel dengan densitas lebih kecil dari air. Dengan gaya sentrifugal yang lebih besar tersebut menyebabkan partikel cenderung lebih menjauhi pusat putaran sehingga terjadi kehilangan energi yang lebih besar akibat gesekan dinding.



Gambar 4.3 Ilustrasi Gaya yang Terjadi di Dalam *Hydrocyclone*
(Sumber : Kasel, 2000)

Dari data diperoleh bahwa efisiensi penyisihan TSS terhadap waktu cenderung menurun. Penurunan efisiensi dari menit ke menit ini dapat terjadi karena adanya “*partial mixing*” antara air yang masuk dan air yang keluar, dimana terjadi

pertukaran air yang masuk menggantikan partikel padat yang akan keluar melalui *underflow* sehingga partikel padat tersebut ikut keluar bersama air melalui *overflow* (Vijay dan Agarwal, 2008). *Partial mixing* tersebut disebabkan oleh besarnya *overflowrate*. Selain menyebabkan *partial mixing*, *overflowrate* yang besar juga menyebabkan sebagian besar nilai TSS *underflow* pada penelitian ini lebih rendah nilainya daripada TSS inlet. Seharusnya nilai TSS *underflow* lebih besar daripada TSS inlet karena *underflow* sebab air yang keluar dari pipa *underflow* merupakan sedimennya.

Namun pada antara menit ke-25 dan 30 terjadi penurunan efisiensi penyisihan TSS yang signifikan, hal ini dimungkinkan merupakan dampak dari kenaikan signifikan terhadap konsentrasi inlet. Perubahan yang drastis tersebut mengganggu proses penyisihan yang sedang berlangsung di dalam *hydrocyclone*. Menurut Jun *et al.* (2009) dan Ghodrat *et al.* (2012) perubahan konsentrasi *feeding* membutuhkan proses penyesuaian bagi *hydrocyclone*, seringkali proses penyesuaian tersebut menyebabkan penurunan terhadap efisiensi pemisahan.

Proses sedimentasi pada menit ke-5 dan 25, yaitu yang memiliki nilai TSS *underflow* lebih besar daripada inlet, adalah yang paling baik. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena air baku yang memasuki inlet pada saat itu membawa partikel-partikel yang densitasnya lebih besar daripada lainnya sehingga memperbesar jumlah partikel yang jatuh ke *underflow*.

4.4.2 *Hydrocyclone* dengan Panjang Cone 40 cm dan Tekanan 0,15 kg/cm²

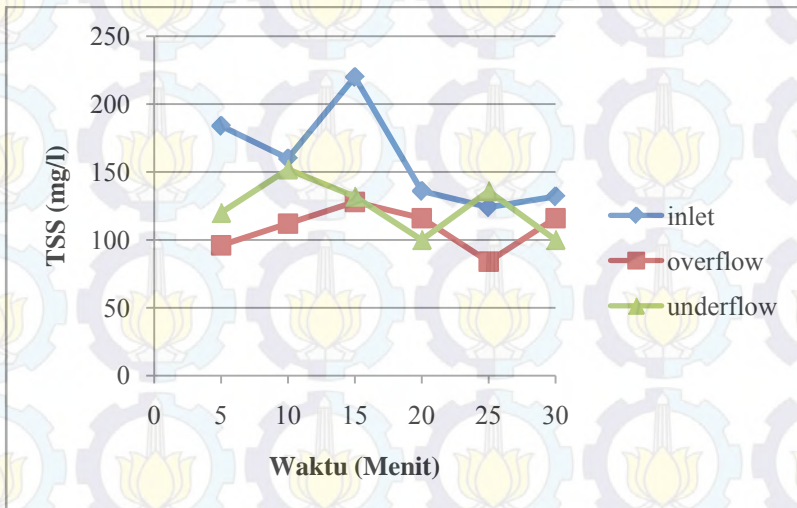
Pada penelitian II ini didapatkan 6 data. Data-data yang telah diperoleh dihitung efisiensi penyisihannya kemudian dibandingkan dengan variasi lain. Hasil analisa yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Analisa TSS pada Penelitian II

Menit ke-	Debit inlet (l/menit)	TSS inlet (mg/l)	TSS overflow (mg/l)	TSS underflow (mg/l)	% penyisihan
5	25	184	96	120	47,8
10	24	160	112	152	30
15	24	220	128	132	41,8
20	24	136	116	100	14,7
25	24	124	84	136	32,3
30	24	132	116	100	12,12

Sumber : Analisa Laboratorium

Berdasarkan data berupa Tabel 4.2, dapat diketahui bahwa rata-rata TSS inlet adalah 159,3 mg/l dan rata-rata TSS overflow adalah 108,7 mg/l. Sehingga dapat diperoleh rata-rata penyisihan TSS sebesar 31,8%.

**Gambar 4.4 Grafik Penyisihan TSS pada Penelitian II**

Dari data berupa grafik Gambar 4.4, dapat dilihat bahwa pada Penelitian II ini memiliki rata-rata efisiensi penyisihan yang

lebih baik dari pada Penelitian I. Ini menunjukkan bahwa tekanan berpengaruh pada penyisihan TSS pada *hydrocyclone* sesuai dengan pernyataan Yuan Shu, *et al.* (2011) yang mengatakan bahwa dengan memperbesar tekanan yang masuk maka memperbesar efisiensi *hydrocyclone*.

Pada persamaan (8) ditunjukkan bahwa gaya sentrifugal sebanding dengan kecepatan. Dengan meningkatkan tekanan maka akan meningkatkan kecepatan, apabila kecepatannya besar maka gaya sentrifugal juga besar. Gaya sentrifugal yang besar mengakibatkan sebagian besar partikel mendapatkan gaya gesek yang sangat besar, kehilangan energi, dan jatuh menuju ke *underflow*.

Dari data diperoleh bahwa efisiensi penyisihan TSS terhadap waktu cenderung menurun. Penurunan efisiensi dari menit ke menit ini dapat terjadi karena adanya "*partial mixing*" antara air yang masuk dan air yang keluar, dimana terjadi pertukaran air yang masuk menggantikan partikel padat yang akan keluar melalui *underflow* sehingga partikel padat tersebut ikut keluar bersama air melalui *overflow* (Vijay dan Agarwal, 2008). *Partial mixing* tersebut disebabkan oleh besarnya *overflowrate*. Selain menyebabkan *partial mixing*, *overflowrate* yang besar juga menyebabkan sebagian besar nilai TSS *underflow* pada penelitian ini lebih rendah nilainya daripada TSS inlet. Seharusnya nilai TSS *underflow* lebih besar daripada TSS inlet karena *underflow* sebab air yang keluar dari pipa *underflow* merupakan sedimennya.

4.4.3 *Hydrocyclone* dengan Panjang Cone 60 cm dan Tekanan 0,1 kg/cm²

Pada penelitian III ini didapatkan 6 data. Data-data yang telah diperoleh dihitung efisiensi penyisihannya kemudian dibandingkan dengan variasi lain. Hasil analisa yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.3. Berdasarkan data, dapat diketahui bahwa rata-rata TSS inlet adalah 184 mg/l dan rata-rata TSS

overflow adalah 168 mg/l. Sehingga dapat diperoleh rata-rata penyisihan TSS sebesar 8,7%.

Tabel 4.3 Hasil Analisa TSS pada Penelitian III

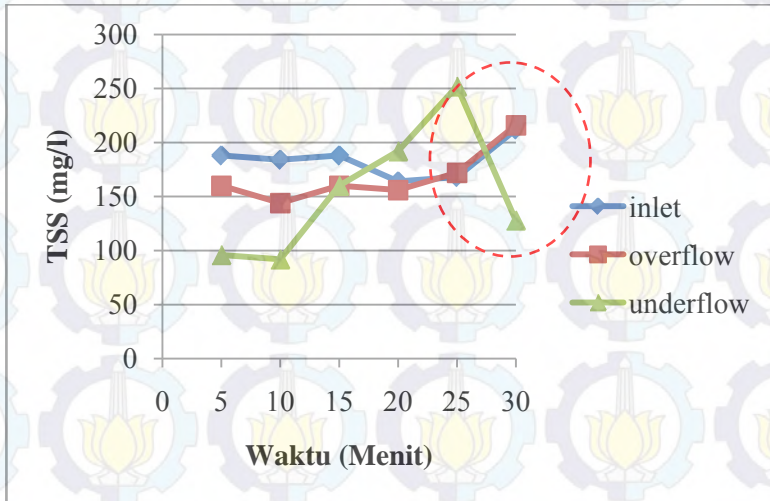
Menit ke-	Debit inlet (l/menit)	TSS inlet (mg/l)	TSS <i>overflow</i> (mg/l)	TSS <i>underflow</i> (mg/l)	% penyisihan
5	20,5	188	160	96	14,9
10	20	184	144	92	21,7
15	20	188	160	160	14,9
20	20,5	164	156	192	4,9
25	20	168	172	252	-2,4
30	20	212	216	128	-1,9

Sumber : Analisa Laboratorium

Dari data berupa grafik pada Gambar 4.5, dapat dilihat bahwa pada Penelitian III ini memiliki rata-rata efisiensi penyisihan yang lebih rendah dari pada Penelitian I, yang memiliki tekanan sama yaitu 0,1 kg/cm².

Pada penelitian III digunakan *cone* yang lebih panjang daripada Penelitian I, seharusnya Penelitian III memiliki efisiensi penyisihan yang lebih besar karena memiliki volume yang lebih besar sehingga waktu tinggalnya lebih lama. Namun yang terjadi pada penelitian ini adalah efisiensi penyisihan TSS pada Penelitian I lebih baik daripada penelitian III, hal ini dimungkinkan dapat terjadi karena pada penelitian III memiliki kapasitas volume yang lebih besar dan kemiringan kerucut yang lebih tajam daripada Penelitian I. Kondisi tersebut menyebabkan air cenderung lebih cepat tertarik ke bawah, segera membentuk pusaran, dan mengalir ke *overflow*. Menurut Delgadilo dan Rajamani (2006) *cone* menyebabkan aliran tertarik ke bawah, selanjutnya membentuk pusaran yang mengalir ke atas di tengah *hydrocyclone*. Penyebab yang utama adalah pada Penelitian III ini memiliki *overflowrate* yang lebih besar daripada Penelitian I

karena Penelitian III mempunyai kapasitas volume yang lebih besar.



Gambar 4.5 Grafik Penyisihan TSS pada Penelitian III

Dari data diperoleh bahwa efisiensi penyisihan TSS terhadap waktu cenderung menurun. Penurunan efisiensi dari menit ke menit ini dapat terjadi karena adanya “*partial mixing*” antara air yang masuk dan air yang keluar, dimana terjadi pertukaran air yang masuk menggantikan partikel padat yang akan keluar melalui *underflow* sehingga partikel padat tersebut ikut keluar bersama air melalui *overflow* (Vijay dan Agarwal, 2008). *Partial mixing* tersebut disebabkan oleh besarnya *overflowrate*. Selain menyebabkan *partial mixing*, *overflowrate* yang besar juga menyebabkan sebagian besar nilai TSS *underflow* pada penelitian ini lebih rendah nilainya daripada TSS inlet. Seharusnya nilai TSS *underflow* lebih besar daripada TSS inlet karena *underflow* sebab air yang keluar dari pipa *underflow* merupakan sedimennya.

Efisiensi penyisihan TSS terendah terdapat pada menit ke-25 dan 30 memiliki nilai negatif dimungkinkan terjadi *short-*

circuiting yaitu kondisi dimana partikel bisa mengendap tidak memiliki waktu yang cukup untuk mengendap. Akibatnya, partikel-partikel tersebut dapat lolos ke *overflow*.

4.4.4 *Hydrocyclone* dengan Panjang *Cone* 60 cm dan Tekanan 0,15 kg/cm²

Pada penelitian III ini didapatkan 6 data. Data-data yang telah diperoleh dihitung efisiensi penyisihannya kemudian dibandingkan dengan variasi lain. Hasil analisa yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.4. Berdasarkan data, dapat diketahui bahwa rata-rata TSS inlet adalah 194 mg/l dan rata-rata TSS *overflow* adalah 158 mg/l. Sehingga dapat diperoleh rata-rata removal TSS sebesar 18,56%.

Tabel 4.4 Hasil Analisa TSS pada Penelitian IV

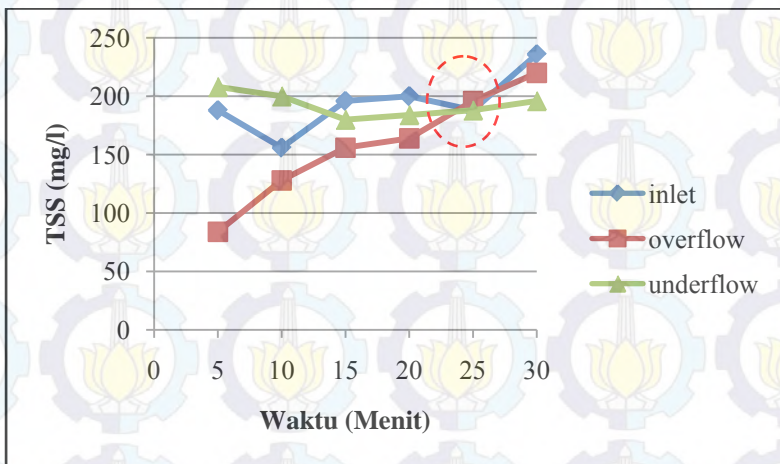
Menit ke-	Debit inlet (l/menit)	TSS inlet (mg/l)	TSS <i>overflow</i> (mg/l)	TSS <i>underflow</i> (mg/l)	% penyisihan
5	25	188	84	208	55,3
10	24	156	128	200	17,9
15	24	196	156	180	20,4
20	24	200	164	184	18
25	23,5	188	196	188	-4,2
30	24	236	220	196	6,8

Sumber : Analisa Laboratorium

Dari data berupa grafik Gambar 4.6, dapat dilihat bahwa pada Penelitian IV ini memiliki rata-rata efisiensi penyisihan yang lebih baik dari pada Penelitian III. Ini menunjukkan bahwa tekanan berpengaruh pada penyisihan TSS pada *hydrocyclone* sesuai dengan pernyataan Yuan Shu, *et al.* (2011) yang mengatakan bahwa dengan memperbesar tekanan yang masuk maka memperbesar efisiensi *hydrocyclone*.

Pada persamaan (4) ditunjukkan bahwa gaya sentrifugal sebanding dengan kecepatan. Dengan meningkatkan tekanan

maka akan meningkatkan kecepatan, apabila kecepatannya besar maka gaya sentrifugal juga besar. Gaya sentrifugal yang besar mengakibatkan sebagian besar partikel mendapatkan gaya gesek yang sangat besar, kehilangan energi, dan jatuh menuju ke *underflow*. Efisiensi removal TSS terendah terdapat pada menit ke-25, hal ini dimungkinkan terjadi pemecahan aliran dimana antara *overflow* dan *underflow* terjadi pencampuran sehingga air keluar ke *overflow* dan *underflow* dengan kualitas yang sama dengan inlet.



Gambar 4.6 Grafik Penyisihan TSS pada Penelitian IV

Pada penelitian IV digunakan *cone* yang lebih panjang daripada Penelitian II, seharusnya Penelitian IV memiliki efisiensi penyisihan yang lebih besar karena memiliki volume yang lebih besar sehingga waktu tinggalnya lebih lama. Namun yang terjadi pada penelitian ini adalah efisiensi penyisihan TSS pada Penelitian II lebih baik daripada penelitian IV, hal ini dimungkinkan dapat terjadi karena pada penelitian IV memiliki kapasitas volume yang lebih besar dan kemiringan kerucut yang lebih tajam daripada Penelitian II. Kondisi tersebut menyebabkan air cenderung lebih cepat tertarik ke bawah, segera membentuk

pusaran, dan mengalir ke *overflow*. Menurut Delgadilo dan Rajamani (2006) *cone* menyebabkan aliran tertarik ke bawah, selanjutnya membentuk pusaran yang mengalir ke atas di tengah *hydrocyclone*.

Dari data diperoleh bahwa efisiensi penyisihan TSS terhadap waktu cenderung menurun. Penurunan efisiensi dari menit ke menit ini dapat terjadi karena adanya "*partial mixing*" antara air yang masuk dan air yang keluar, dimana terjadi pertukaran air yang masuk menggantikan partikel padat yang akan keluar melalui *underflow* sehingga partikel padat tersebut ikut keluar bersama air melalui *overflow* (Vijay dan Agarwal, 2008). *Partial mixing* tersebut disebabkan oleh besarnya *overflowrate*. Selain menyebabkan *partial mixing*, *overflowrate* yang besar juga menyebabkan sebagian besar nilai TSS *underflow* pada penelitian ini lebih rendah nilainya daripada TSS inlet. Seharusnya nilai TSS *underflow* lebih besar daripada TSS inlet karena *underflow* sebab air yang keluar dari pipa *underflow* merupakan sedimennya.

Proses penyisihan yang terjadi di dalam reaktor juga ditunjukkan dengan nilai TSS *underflow* lebih besar daripada *overflow*. Proses sedimentasi pada menit ke-25 kurang efisien dimungkinkan terjadi *short-circuiting* yaitu kondisi dimana partikel bisa mengendap tidak memiliki waktu yang cukup untuk mengendap. Akibatnya, partikel-partikel tersebut dapat lolos ke *overflow*.

4.5 Kemampuan Penyisihan *Hydrocyclone* terhadap Parameter Uji Kekeruhan

Kekeruhan merupakan indikasi adanya partikel tersuspensi di dalam air, satuannya adalah NTU (Australia, 2002 dalam Yahyapour *et al.*, 2013). Air baku yang digunakan yaitu Kali Surabaya memiliki rata-rata kekeruhan sebesar 153,47 NTU. Dalam penelitian ini didapatkan data mengenai besarnya nilai penyisihan kekeruhan yang dihitung berdasarkan pengamatan

kekeruhan inlet dan kekeruhan *overflow* dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{efisiensi penyisihan kekeruhan} = \frac{(\text{kekeruhan inlet} - \text{kekeruhan } \textit{overflow})}{\text{kekeruhan inlet}} \times 100\%$$

4.5.1 *Hydrocyclone* dengan Panjang Cone 40 cm dan Tekanan 0,1 kg/cm²

Pada penelitian I ini didapatkan 6 data. Data-data yang telah diperoleh dihitung efisiensi penyisihannya kemudian dibandingkan dengan variasi lain. Hasil analisa yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Analisa Kekeruhan pada Penelitian I

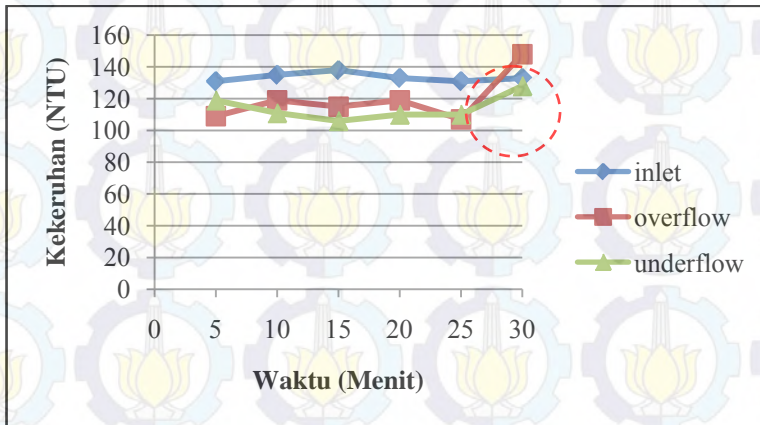
Me- nit ke-	Debit inlet (l/menit)	Keke- ruhan inlet (NTU)	Keke- ruhan <i>overflow</i> (NTU)	Kekeruh- an <i>underflow</i> (NTU)	% penyisih- an
5	20	131	109	119	16,8
10	21	135	119	111	11,8
15	20	138	115	106	16,7
20	20	133	119	110	10,5
25	21	131	107	110	18,3
30	20	133	148	128	-11,3

Sumber : Analisa Laboratorium

Berdasarkan data berupa Tabel 4.5, dapat diketahui bahwa rata-rata kekeruhan inlet adalah 133,5 NTU dan rata-rata kekeruhan *overflow* adalah 119,5 NTU. Sehingga dapat diperoleh removal kekeruhan sebesar 10,5%.

Pada Gambar 4.7 ketika antara menit ke-25 dan 30 terjadi penurunan efisiensi penyisihan kekeruhan yang signifikan, hal ini dimungkinkan merupakan dampak dari kenaikan signifikan terhadap konsentrasi TSS inlet. Perubahan yang drastis tersebut mengganggu proses penyisihan yang sedang berlangsung di

dalam *hydrocyclone*. Menurut Jun *et al.* (2009) dan Ghodrat *et al.* (2012) perubahan konsentrasi *feeding* membutuhkan proses penyesuaian bagi *hydrocyclone*, seringkali proses penyesuaian tersebut menyebabkan penurunan terhadap efisiensi pemisahan.



Gambar 4.7 Grafik Penyisihan Kekeruhan pada Penelitian I

Dari data diperoleh bahwa efisiensi penyisihan kekeruhan terhadap waktu cenderung menurun. Penurunan efisiensi dari menit ke menit ini dapat terjadi karena adanya “*partial mixing*” antara air yang masuk dan air yang keluar, dimana terjadi pertukaran air yang masuk menggantikan partikel padat yang akan keluar melalui *underflow* sehingga partikel padat tersebut ikut keluar bersama air melalui *overflow* (Vijay dan Agarwal, 2008). *Partial mixing* tersebut disebabkan oleh besarnya *overflowrate*. Selain menyebabkan *partial mixing*, *overflowrate* yang besar juga menyebabkan sebagian besar nilai kekeruhan *underflow* pada penelitian ini lebih rendah nilainya daripada kekeruhan inlet. Seharusnya nilai kekeruhan *underflow* lebih besar daripada kekeruhan inlet karena *underflow* sebab air yang keluar dari pipa *underflow* merupakan sedimennya.

4.5.2 *Hydrocyclone* dengan Panjang Cone 40 cm dan Tekanan 0,15 kg/cm²

Pada penelitian II ini didapatkan 6 data. Data-data yang telah diperoleh dihitung efisiensi penyisihannya kemudian dibandingkan dengan variasi lain. Hasil analisa yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Analisa Kekeruhan pada Penelitian II

Me- nit ke-	Debit inlet (l/menit)	Keke- ruhan inlet (NTU)	Keke- ruhan <i>overflow</i> (NTU)	Kekeruh- an <i>underflow</i> (NTU)	% penyisih- an
5	25	112	86	101	23,2
10	24	123	98	115	20,3
15	24	117	100	105	14,5
20	24	109	107	100	1,8
25	24	111	106	110	4,5
30	24	107	106	102	0,9

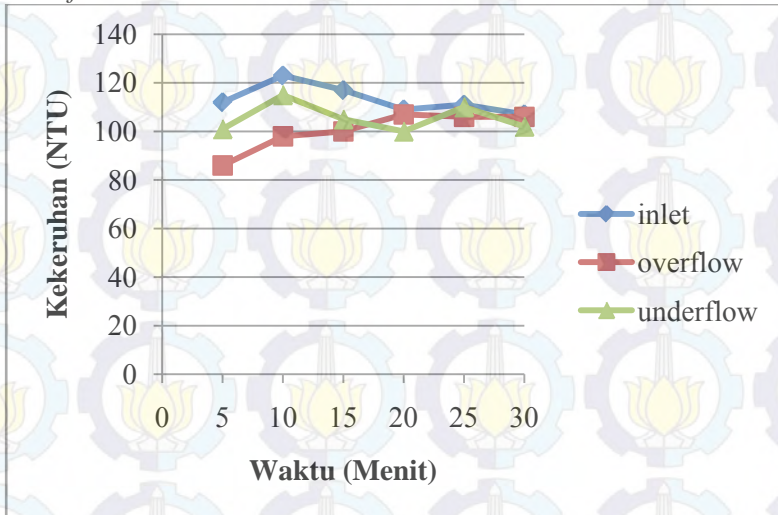
Sumber : Analisa Laboratorium

Berdasarkan data berupa Tabel 4.6, dapat diketahui bahwa rata-rata kekeruhan inlet adalah 113,2 NTU dan rata-rata kekeruhan *overflow* adalah 100,5 NTU. Sehingga dapat diperoleh removal kekeruhan sebesar 11,2%. Kekeruhan inlet relatif konstan.

Dari data berupa grafik Gambar 4.4, dapat dilihat bahwa pada Penelitian II ini memiliki rata-rata efisiensi penyisihan yang lebih baik dari pada Penelitian I. Ini menunjukkan bahwa tekanan berpengaruh pada penyisihan kekeruhan pada *hydrocyclone* sesuai dengan pernyataan Yuan Shu, *et al.* (2011) yang mengatakan bahwa dengan memperbesar tekanan yang masuk maka memperbesar efisiensi *hydrocyclone*.

Pada persamaan (8) ditunjukkan bahwa gaya sentrifugal sebanding dengan kecepatan. Dengan meningkatkan tekanan maka akan meningkatkan kecepatan, apabila kecepatannya besar

maka gaya sentrifugal juga besar. Gaya sentrifugal yang besar mengakibatkan sebagian besar partikel mendapatkan gaya gesek yang sangat besar, kehilangan energi, dan jatuh menuju ke *underflow*.



Gambar 4.8 Grafik Penyisihan Kekeruhan pada Penelitian II

Dari data diperoleh bahwa efisiensi penyisihan kekeruhan terhadap waktu cenderung menurun. Penurunan efisiensi dari menit ke menit ini dapat terjadi karena adanya “*partial mixing*” antara air yang masuk dan air yang keluar, dimana terjadi pertukaran air yang masuk menggantikan partikel padat yang akan keluar melalui *underflow* sehingga partikel padat tersebut ikut keluar bersama air melalui *overflow* (Vijay dan Agarwal, 2008). *Partial mixing* tersebut disebabkan oleh besarnya *overflowrate*. Selain menyebabkan *partial mixing*, *overflowrate* yang besar juga menyebabkan sebagian besar nilai kekeruhan *underflow* pada penelitian ini lebih rendah nilainya daripada kekeruhan inlet. Seharusnya nilai kekeruhan *underflow* lebih besar daripada kekeruhan inlet karena *underflow* sebab air yang keluar dari pipa *underflow* merupakan sedimennya.

4.5.3 *Hydrocyclone* dengan Panjang Cone 60 cm dan Tekanan 0,1 kg/cm²

Pada penelitian III ini didapatkan 6 data. Data-data yang telah diperoleh dihitung efisiensi penyisihannya kemudian dibandingkan dengan variasi lain. Hasil analisa yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.7. Berdasarkan data berupa Tabel 4.7, dapat diketahui bahwa rata-rata kekeruhan inlet adalah 176,7 NTU dan rata-rata kekeruhan *overflow* adalah 176 NTU. Sehingga dapat diperoleh removal kekeruhan sebesar 0,4%.

Tabel 4.7 Hasil Analisa Kekeruhan pada Penelitian III

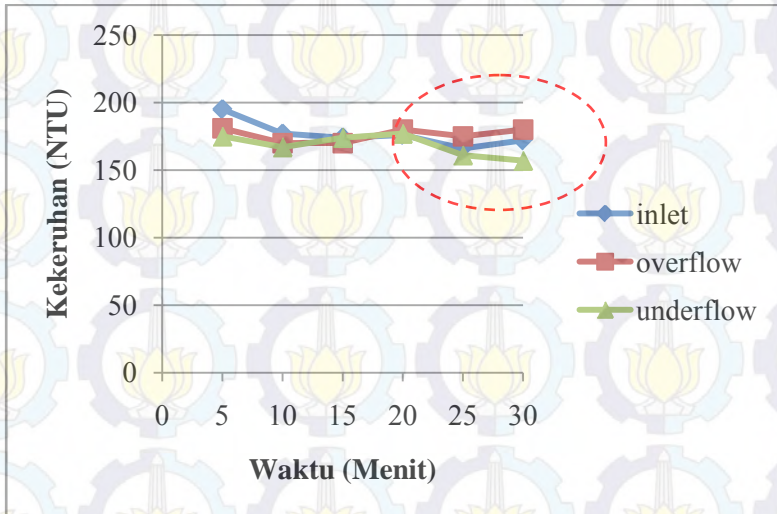
Me- nit ke-	Debit inlet (l/menit)	Keke- ruhan inlet (NTU)	Keke- ruhan <i>overflow</i> (NTU)	Kekeruh- an <i>underflow</i> (NTU)	% penyisih- an
5	19	126	124	112	7,2
10	18	124	120	107	3,9
15	18	123	124	120	2,3
20	19	124	121	118	-2,3
25	19	121	112	163	-5,4
30	18	123	111	104	-4,6

Sumber : Analisa Laboratorium

Dari data berupa grafik Gambar 4.9, dapat dilihat efisiensi removal kekeruhan sangat kecil karena removal TSS yang terjadi pada variasi ini juga sangat kecil itu mengindikasikan bahwa kekeruhan pada air baku tersebut merupakan akibat dari adanya TSS.

Pada penelitian III digunakan *cone* yang lebih panjang daripada Penelitian I yang memiliki tekanan sama, seharusnya Penelitian III memiliki efisiensi penyisihan yang lebih besar karena memiliki volume yang lebih besar sehingga waktu tinggalnya lebih lama. Namun yang terjadi pada penelitian ini adalah efisiensi penyisihan kekeruhan pada Penelitian I lebih baik daripada penelitian III, hal ini dimungkinkan dapat terjadi karena

pada penelitian III memiliki kapasitas volume yang lebih besar dan kemiringan kerucut yang lebih tajam daripada Penelitian I sehingga pada Penelitian III ini memiliki *overflowrate* yang lebih besr daripada Penelitian I.



Gambar 4.9 Grafik Penyisihan Kekeruhan pada Penelitian III

Dari data diperoleh bahwa efisiensi penyisihan kekeruhan terhadap waktu cenderung menurun. Penurunan efisiensi dari menit ke menit ini dapat terjadi karena adanya “*partial mixing*” antara air yang masuk dan air yang keluar, dimana terjadi pertukaran air yang masuk menggantikan partikel padat yang akan keluar melalui *underflow* sehingga partikel padat tersebut ikut keluar bersama air melalui *overflow* (Vijay dan Agarwal, 2008). *Partial mixing* tersebut disebabkan oleh besarnya *overflowrate*. Selain menyebabkan *partial mixing*, *overflowrate* yang besar juga menyebabkan sebagian besar nilai kekeruhan *underflow* pada penelitian ini lebih rendah nilainya daripada kekeruhan inlet. Seharusnya nilai kekeruhan *underflow* lebih

besar daripada TSS inlet karena *underflow* sebab air yang keluar dari pipa *underflow* merupakan sedimennya.

Efisiensi penyisihan kekeruhan terendah terdapat pada menit ke-20 hingga 30 memiliki nilai negatif dimungkinkan terjadi *short-circuiting* yaitu kondisi dimana partikel bisa mengendap tidak memiliki waktu yang cukup untuk mengendap. Akibatnya, partikel-partikel tersebut dapat lolos ke *overflow*.

4.5.4 *Hydrocyclone* dengan Panjang Cone 60 cm dan Tekanan 0,15 kg/cm²

Pada penelitian III ini didapatkan 6 data. Data-data yang telah diperoleh dihitung efisiensi penyisihannya kemudian dibandingkan dengan variasi lain. Hasil analisa yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Analisa Kekeruhan pada Penelitian IV

Me- nit ke-	Debit inlet (l/menit)	Keke- ruhan inlet (NTU)	Keke- ruhan <i>overflow</i> (NTU)	Kekeruh- an <i>underflow</i> (NTU)	% penyisih- an
5	25	187	164	207	12,3
10	24	193	179	178	7,2
15	24	188	175	180	6,9
20	24	194	184	210	5,1
25	23,5	192	188	183	2,1
30	24	236	185	182	2,1

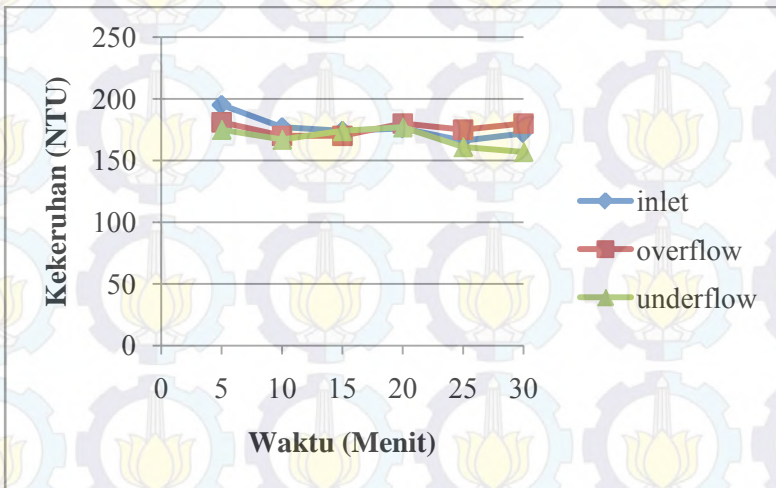
Sumber : Analisa Laboratorium

Berdasarkan data berupa Tabel 4.8, dapat diketahui bahwa rata-rata kekeruhan inlet adalah 190,5 NTU dan rata-rata kekeruhan *overflow* adalah 179,2 NTU. Sehingga dapat diperoleh removal kekeruhan sebesar 5,95%.

Dari data berupa grafik Gambar 4.10, dapat dilihat bahwa pada Penelitian IV ini memiliki rata-rata efisiensi penyisihan yang lebih baik dari pada Penelitian III. Ini menunjukkan bahwa

tekanan berpengaruh pada penyisihan kekeruhan pada *hydrocyclone* sesuai dengan pernyataan Yuan Shu, *et al.* (2011) yang mengatakan bahwa dengan memperbesar tekanan yang masuk maka memperbesar efisiensi *hydrocyclone*.

Pada persamaan (4) ditunjukkan bahwa gaya sentrifugal sebanding dengan kecepatan. Dengan meningkatkan tekanan maka akan meningkatkan kecepatan, apabila kecepatannya besar maka gaya sentrifugal juga besar. Gaya sentrifugal yang besar mengakibatkan sebagian besar partikel mendapatkan gaya gesek yang sangat besar, kehilangan energi, dan jatuh menuju ke *underflow*.



Gambar 4.10 Grafik Penyisihan Kekeruhan pada Penelitian IV

Pada penelitian IV digunakan *cone* yang lebih panjang daripada Penelitian II, seharusnya Penelitian IV memiliki efisiensi penyisihan yang lebih besar karena memiliki volume yang lebih besar sehingga waktu tinggalnya lebih lama. Namun yang terjadi pada penelitian ini adalah efisiensi penyisihan TSS pada Penelitian II lebih baik daripada penelitian IV, hal ini

dimungkinkan dapat terjadi karena pada penelitian IV memiliki kapasitas volume yang lebih besar dan kemiringan kerucut yang lebih tajam sehingga memiliki *overflowrate* yang besar pula.

Dari data diperoleh bahwa efisiensi penyisihan TSS terhadap waktu cenderung menurun. Penurunan efisiensi dari menit ke menit ini dapat terjadi karena adanya "*partial mixing*" antara air yang masuk dan air yang keluar, dimana terjadi pertukaran air yang masuk menggantikan partikel padat yang akan keluar melalui *underflow* sehingga partikel padat tersebut ikut keluar bersama air melalui *overflow* (Vijay dan Agarwal, 2008). *Partial mixing* tersebut disebabkan oleh besarnya *overflowrate*. Selain menyebabkan *partial mixing*, *overflowrate* yang besar juga menyebabkan sebagian besar nilai TSS *underflow* pada penelitian ini lebih rendah nilainya daripada TSS inlet. Seharusnya nilai TSS *underflow* lebih besar daripada TSS inlet karena *underflow* sebab air yang keluar dari pipa *underflow* merupakan sedimennya.

4.6 Korelasi Antar Parameter

Dari data-data yang telah dibahas pada subbab 4.4 dan 4.5 telah didapatkan efisiensi removal parameter uji untuk masing-masing variasi. Mengkorelasikan antar variasi berfungsi untuk menentukan variasi mana yang terbaik dalam penelitian ini.

Untuk parameter TSS, pada penelitian I diperoleh efisiensi penyisihan TSS sebesar 13,54%, penelitian II sebesar 31,8%, penelitian III sebesar 8,7%, dan penelitian IV sebesar 18,56%. Di antara keempat variasi tersebut yang memiliki efisiensi penyisihan TSS terbesar yaitu penelitian II yang menggunakan *hydrocyclone* dengan panjang *cone* 40 cm dioperasikan dengan tekanan 0,15 kg/cm². Tekanan yang besar memberikan kecepatan yang besar juga. Kecepatan yang tinggi dapat mempercepat proses sedimentasi.

Dari keempat variasi tersebut dihasilkan efisiensi yang kecil, hal ini disebabkan karena debit yang masuk besar sehingga memiliki *overflowrate* besar. *Overflowrate* yang besar juga

menunjukkan bahwa waktu tinggal (*detention time*) air di dalam *hydrocyclone* singkat. Oleh karena itu partikel padat yang mengendap tidak banyak terutama partikel yang berdiameter kecil karena tidak memiliki waktu yang cukup untuk mengendap.

Untuk parameter kekeruhan, pada penelitian I diperoleh efisiensi penyisihan kekeruhan sebesar 10,5%, penelitian II sebesar 11,2%, penelitian III sebesar 0,37%, dan penelitian IV sebesar 5,9%. Di antara keempat variasi tersebut yang memiliki efisiensi penyisihan kekeruhan terbesar yaitu penelitian II yang menggunakan *hydrocyclone* dengan panjang *cone* 40 cm dioperasikan dengan tekanan 0,15 kg/cm².

Nilai TSS dan kekeruhan saling berkaitan karena *Suspended Solid* merupakan salah satu penyebab kekeruhan. Namun dalam penelitian ini, penurunan pada TSS tidak selalu terjadi penurunan juga pada kekeruhan. Hal ini sesuai dengan menurut Widigdo (2011) bahwa perubahan atau naik turunnya nilai TSS tidak selalu diikuti oleh naik turunnya nilai kekeruhan secara linier. Hal ini dapat dijelaskan karena bahan-bahan yang menyebabkan kekeruhan perairan dapat terdiri atas berbagai bahan yang sifat dan beratnya berbeda sehingga tidak terlalu tergambarkan dalam bobot residu TSS yang sebanding.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Panjang *cone* dan tekanan pada *hydrocyclone* sangat berpengaruh dalam menurunkan TSS. Dalam penelitian ini didapatkan efisiensi penyisihan TSS paling baik pada panjang *cone* 40 cm dan tekanan 0,15 kg/cm² dengan rata-rata penyisihan TSS sebesar 31,8% dan rata-rata penyisihan kekeruhan 11,2%.
2. Variasi panjang *cone* yang optimum pada *hydrocyclone* dalam menurunkan TSS pada penelitian ini adalah 40 cm karena memiliki *overflowrate* yang lebih kecil.
3. Variasi tekanan yang optimum pada *hydrocyclone* dalam menurunkan TSS pada penelitian ini adalah 0,15 kg/cm² karena bila tekanan tinggi, maka kecepatan air yang masuk juga akan tinggi sehingga memperbesar gaya sentrifugal.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Dilakukan penelitian menggunakan air baku yang mengandung partikel yang densitasnya lebih besar atau lebih kecil daripada air sungai, misalnya air-lumpur atau air-minyak. Besar konsentrasi *feeding* mempengaruhi efisiensi penyisihan TSS.
2. Dilakukan penelitian dengan menggunakan reaktor yang berbahan kuat terhadap tekanan dan transparan sehingga dapat dilihat pergerakan air yang ada di dalam *hydrocyclone*.
3. Dilakukan penelitian dengan variasi panjang silinder dan panjang *vortex finder*.
4. Meningkatkan waktu tinggal (*detention time*) dengan memperkecil debit tetapi tetap mempertahankan tekanan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Fatlawi, Alaa Husei W. dan Al-Hashimi, Osamah Ali H. 2013. *Improve Water Quality by Cyclone Separator as a Pre-Treatment Technique*. International Journal of Chemical, Environmental and Biological Sciences. Vol. 1. Issue 4. Page 576-583.
- Arifiani, Nur Fajri dan Hadiwidodo, Mochtar. 2006. *Evaluasi Desain Instalasi Pengolahan Air PDAM Ibu Kota Kecamatan Prambanan Kabupaten Klaten*. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Dipoenegoro.
- Cooper, C. D. and Alley, F.C. 1986. *Air Pollution Control*.
- Coulson, J.M., Richardson, J.F. and Sinnott R.K. 1993. *Chemical Engineering(Design)*. Vol. 6. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Delgadilo, J. A. and Rajamani, Raj K.. 2006. *Exploration of Hydrocyclone Design Using Computational Fluid Dynamic*. International Journal of Mineral Process. Vol. 84. page 252-261.
- Effendi, H. 2000. *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB. Bogor.
- Ghodrat, M *et al.* 2012. *CFD Study of the Multiphase Flow in Classifying Hydrocyclone: Effect of Cone Geometry*. Ninth International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. Melbourne, Australia. 10-12 Desember 2012.
- Hadi, Anwar. 2005. *Prinsip Pengelolaan Pengambilan Sampel Lingkungan*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Indriani, Nufikha dan Nobelia, James. 2012. *Pengaruh Putaran dan Penambahan Lumpur pada Pengendap Berputar dalam Penyisihan Kekeruhan*. Tugas Akhir Program Studi Teknik

Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan. Institut Teknologi Bandung.

Jun, Huang *et al.* 2009. *Study on Application and Operation Optimization of Hydrocyclone for Solid-liquid Separation Power Plant*. Proceeding of the World Congress on Engineering and Computer Science Vol. 1 WCECS. San Francisco, USA, 20-22 October 2009.

Kasel, K. 2000. *Source and Control Air Pollution*.

Kurniawan, Allen dan Wirasembada, Yanuar Chandra. 2012. *Penentuan Efektivitas Desain Unit Cyclone untuk Mereduksi Partikulat di Udara*. Proceeding Annual Engineering Seminar 2012 Universitas Gajah Mada. Yogyakarta, 16 February 2012 page D146-D151.

Lin, Li *et al.* 2008. *Weakly Swirling Turbulent Flow in Turbid Water Hydraulic Separation Device*. Journal of Hydrodynamics. Vol. 20(3) page 347-355.

Marinuc, M and Rus, F. 2011. *The Effect of Particle Size and Input Velocity on Cyclone Separation Process*. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II. Vol. 4(53) No.2.

Motsamai, Oboetswe Seraga. 2010. *Investigation of the Influence of Hydrocyclone Geometric and Flow Parameters on Its Performance Using CFD*. Research Article of Hindawi Publishing Corporation Advances in Mechanical Engineering. Page 1-12.

Olson, T. 2000. *Hydrocyclone design for fine separations at high capacities*. Presented at the 2000 Annual AIChE Meeting, Symposium on Recent Advances in hydrocyclones. Los Angeles, 12-17 November 2000.

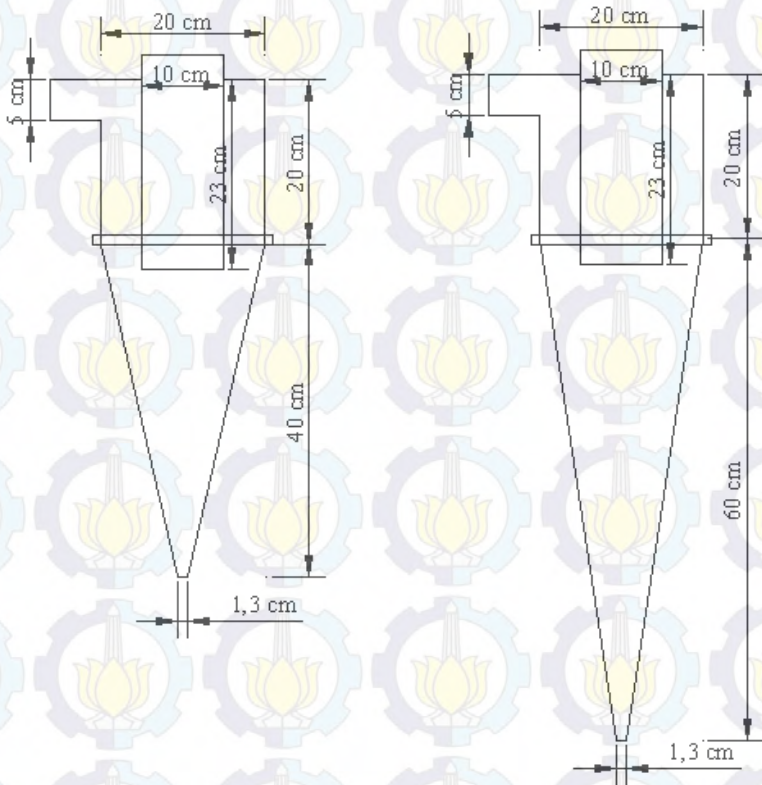
Pancoko, Marliyadi dan Jami, Abdul. 2011. *Kriteria Pemilihan Pompa untuk Mengalirkan Larutan Asam Fosfat ke Mixer Settler pada Proses Recovery Uranium dari Asam Fosfat*. Proseding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir BATAN, 30 November 2011.

- Rushton, A., A.S., Ward dan R.G, Holdich. 2000. *Solid-liquid Filtration and Separation Technology*. Second Edition, WILEY-VCH.
- Saidi, Masyam, *et al.* 2013. *Numerical Investigation of Cone Angle Effect on the Flow Field and Separation Efficiency of Deoiling Hydrocyclones*. Heat Mass Transfer. Vol 49. page 247-260.
- Shutt, J.W. *et al.* 1975. *Evaluation of solids separation devices. Managing livestock wastes*. Proceedings of 3rd International Symposium on Agricultural Wastes, American Society of Agricultural Engineers Urbana, Illinois, USA. page 463-467.
- Socol, Olivio Jose dan Botrel, Tarlei Arriel. 2004. *Hydrocyclone for Pre-Filtering of Irrigation Water*. Journal of Science Agricultural. Vol. 61 No. 2 Page 134-140.
- Socol, Olivio Jose *et al.* 2007. *Evaluation of Hydrocyclone as Pre-filter in Irrigation System*. Journal of Brazilian Archives of Biology and Technology. Vol. 50. Page 193-199.
- Souza, J.S., *et al.* 2012. *Hydrocyclone Applications in Produced Water: A Steady-State Numerical Analysis*. Brazilian Journal of Petroleum and Gas. Vol. 6 No. 3 Page 133-143
- Sripriya, R, *et al.* 2007. *Studies on the Performance of a Hydrocyclone and Modeling for Flow Characterization in Presence and Absence of Air Core*. Journal of Chemical Engineering Science. Vol. 62 Issue 22. Pages 6391-6402.
- Sriyono. 2012. *Analisis dan Permodelan Cyclone Separator sebagai Prefilter Debu Karbon pada Sistem Pemurnian Helium Reaktor RGTT200K*. Prosiding Seminar Nasional le-18 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir. Bandung 29 September 2012.
- Svarovsky, L. 2000. *Solid-Liquid Separation*. 4th Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Vieira, L. G. M. *et al.* 2005. *Performance Analysis and Design of Filtering Hydrocyclones*. Brazilian Journal of Chemical Engineering. Vol. 22 No. 1 Page 143-152.

- Vijay, V.K and Agarwal, U.S. 2008. *Studies on Centrifugal Clarification of Sugarcane Juice- Possibilities and Limitation*. Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal. Vol. 10. Page 1-11.
- Wang, Lingjuang. 2004. *Theoretical Study of Cyclone Design*. Disertation of Biological and Agricultural Engineering Texas A and M University.
- Widigdo, B. 2001. *Manajemen Sumberdaya Perairan*. Diktat Kuliah. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bandung.
- Yahyapour, S. *et al.* 2013. *Removal of Total Suspended Solid and Turbidity Within Experimental Vegetated Channel: Optimization Through Response Surface Methodology*. Journal of Hydro-environment Research. Vol. 20. Page 1-10.
- Yang, Jingxuan, *et al.* 2013. *Effect of the Inlet Dimensions on the Maximum-Efficiency Cyclone Height*. Separation and Purification Technology. Vol 105 Pages 15-23.
- Yuan Hsu, Chih *et al.* 2011. *Particles Separation and Tracks in Hydrocyclone*. Tamkang Journal of Science and Engineering. Vol. 14. No. 1. Page 65-70.

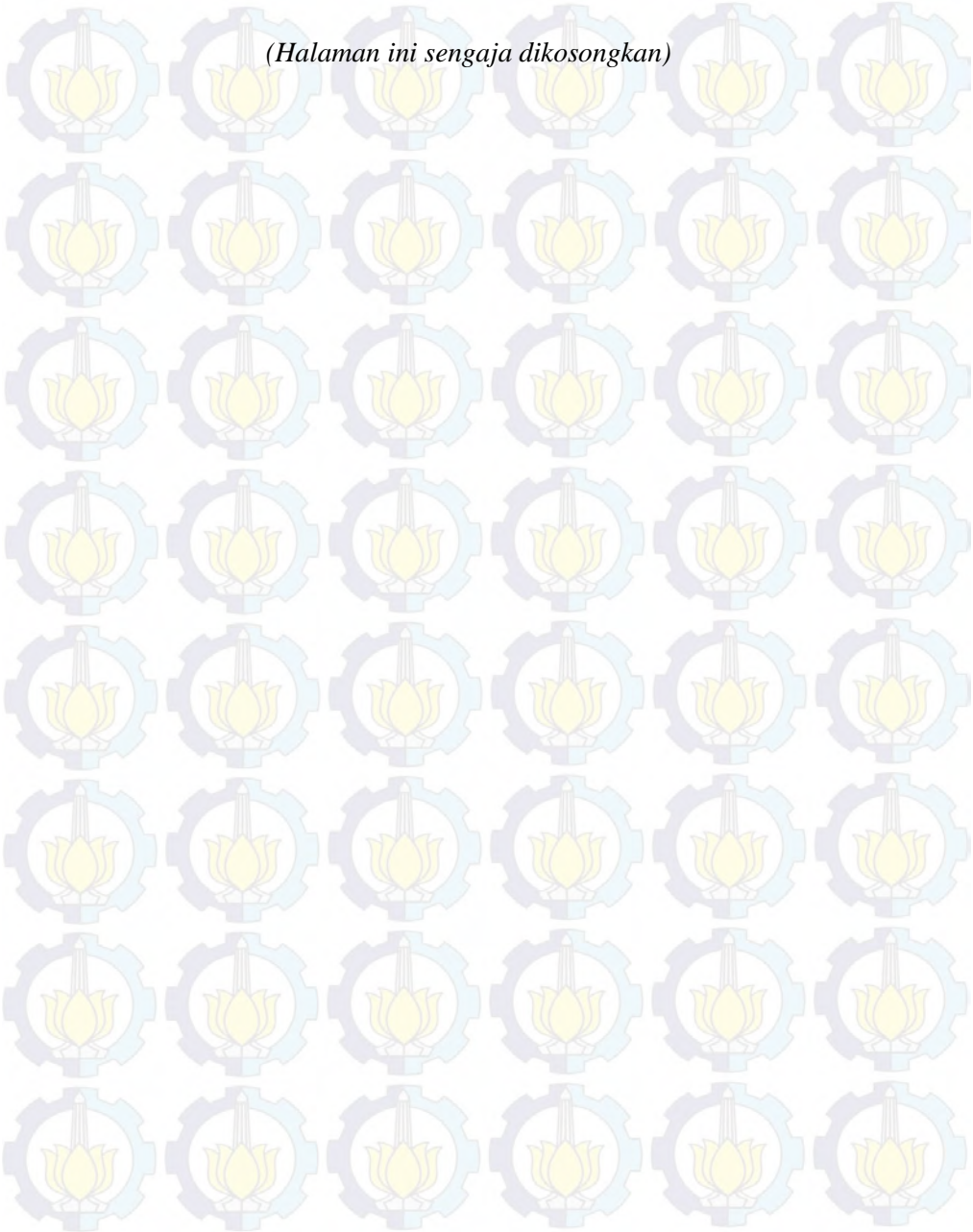
LAMPIRAN A

Desain *Hydrocyclone* yang Digunakan:



Gambar di atas merupakan dimensi *hydrocyclone* yang digunakan dalam penelitian ini. *Hydrocyclone* dengan panjang *cone* 40 cm (kiri) memiliki besar sudut 30° dan *hydrocyclone* dengan panjang *cone* 60 cm (kanan) memiliki besar sudut 20° .

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN B

Spesifikasi Pompa:

Merk : Shimizu

Type : PS-128 BIT

Output (w) : 125

Input (kW) : 0,3

Panjang pipa (m) : 9

Total Head Max. (m) : 40

Head (m) :

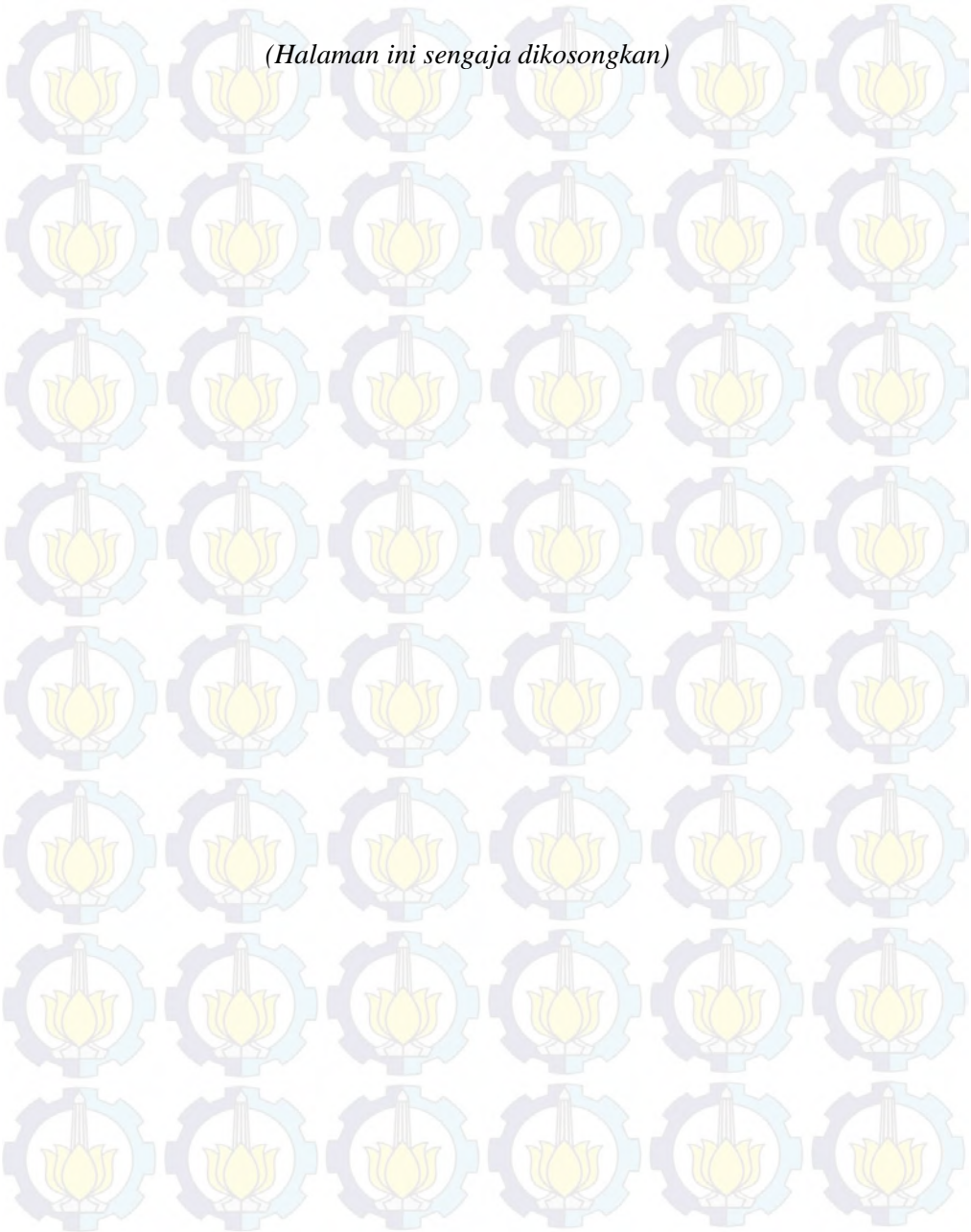
Kapasitas (l/min) :

10	22
18	10

Pipa Hisap (in) : 1

Pipa Dorong (in) : 1

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN C

Analisa Total Suspended Solid:

Bahan dan Alat:

1. Furnace dengan suhu 550⁰C.
2. Oven dengan suhu 105⁰C.
3. Desikator.
4. Timbangan analitis.
5. Vacuum Filter.
6. Penjepit.
7. Cawan porselin atau cawan petridis.
8. Kertas saring.

Prosedur Analisa:

1. Cawan dimasukkan furnace 550⁰C selama 1 jam, setelah itu masukkan dalam oven 105⁰C selama 15 menit.
2. Masukkan kertas saring ke oven 105⁰C selama 1 jam.
3. Cawan dan kertas saring didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
4. Timbang dengan timbangan analitis (a gram).
5. Letakkan kertas saring yang telah ditimbang pada vacuum filter.
6. Tuangkan sampel sebanyak 25 ml di atas filter yang telah dipasang pada vacuum filter, volume sampel yang digunakan ini tergantung dari kepekatannya, catat volume sampel (c ml).
7. Saring sampel sampai kering atau airnya habis.
8. Letakkan kertas saring pada cawan dan masukkan ke oven 105⁰C selama 1 jam.
9. Dinginkan dalam desikator selama 15 menit.
10. Timbang dengan timbangan analitis (b mg).
11. Hitung jumlah zat padat total dengan rumus berikut:

Zat Padat Tersuspensi (mg/l) = $((b-a)/c) \times 1000 \times 1000$.

Analisa Kekeruhan:**Bahan dan Alat:**

1. Kuvet.
2. Tissue.
3. Aquadest.
4. Turbidimeter.

Prosedur Analisa:

1. Nyalakan turbidimeter dengan memencet tombol ON.
2. Bilas kuvet dengan aquadest.
3. Masukkan sampel ke dalam kuvet hingga hampir penuh.
4. Lap bagian luar kuvet dengan menggunakan tissue yang kering.
5. Pasang kuvet yang berisi sampel ke dalam tempatnya pada turbidimeter.
6. Lihat dan catat nilai kekeruhan yang muncul pada layar dalam satuan NTU.

LAMPIRAN D

Data hasil percobaan:

1. PENELITIAN I (variasi: panjang *cone* 40 cm dan tekanan 0,1 kg/cm²)

Titik sampling pada inlet							
No.	Menit ke-	Debit (L/menit)	Tekanan (kg/cm ²)	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg /L)	Keke-ruhan (NTU)
1	5	20	0,15	0,1544	0,1576	128	131
2	10	21	0,15	0,1357	0,1382	100	135
3	15	20	0,15	0,136	0,1404	176	138
4	20	20	0,15	0,1374	0,142	184	133
5	25	21	0,15	0,1388	0,1466	312	131
6	30	20	0,15	0,1538	0,1585	188	133

Titik sampling pada overflow					
No.	Menit ke-	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)
1	5	0,1508	0,1525	68	109
2	10	0,152	0,1542	88	119
3	15	0,1373	0,1405	128	115
4	20	0,1377	0,142	172	119
5	25	0,1389	0,1433	176	107
6	30	0,1352	0,1426	296	148

Titik sampling pada underflow					
No.	Menit ke-	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)
1	5	0,1361	0,1426	260	119
2	10	0,1342	0,1375	132	111
3	15	0,1415	0,1437	88	106
4	20	0,1364	0,14	144	110
5	25	0,1367	0,145	332	110
6	30	0,1396	0,145	216	128

2. PENELITIAN II (variasi: panjang *cone* 40 cm dan tekanan 0,15 kg/cm²)

Titik sampling pada Inlet							
No.	Menit ke-	Debit (L/menit)	Tekanan (kg/cm ²)	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)
1	5	25	0,1	0,1559	0,1605	184	112
2	10	24	0,1	0,1565	0,1605	160	123
3	15	24	0,1	0,1631	0,1686	220	117
4	20	24	0,1	0,155	0,1584	136	109
5	25	24	0,1	0,1579	0,161	124	111
6	30	24	0,1	0,1617	0,165	132	107

Titik sampling pada overflow					
No.	Menit ke-	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)
1	5	0,1582	0,1606	96	86
2	10	0,1521	0,1549	112	98
3	15	0,1551	0,1583	128	100

Titik sampling pada overflow					
No.	Menit ke-	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)
4	20	0,1513	0,1542	116	107
5	25	0,153	0,1551	84	106
6	30	0,1587	0,1616	116	106

Titik sampling pada underflow					
No.	Menit ke-	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)
1	5	0.1515	0.1545	120	101
2	10	0.1581	0.1619	152	115
3	15	0.1539	0.1572	132	105
4	20	0.1586	0.1611	100	100
5	25	0.1556	0.159	136	110
6	30	0.1588	0.1613	100	102

3. PENELITIAN III (variasi: panjang *cone* 60 cm dan tekanan 0,1 kg/cm²)

Titik sampling pada Inlet							
No.	Menit ke-	Debit (L/menit)	Tekanan (kg/cm ²)	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg/L)	Keke-ruhan (NTU)
1	5	20.5	0.1	0.1598	0.1645	188	195
2	10	20	0.1	0.1317	0.1363	184	177
3	15	20	0.1	0.1469	0.1516	188	174
4	20	20.5	0.1	0.159	0.1631	164	176
5	25	20.5	0.1	0.1545	0.1587	168	166
6	30	20	0.1	0.152	0.1573	212	172

Titik sampling pada overflow					
No.	Menit ke-	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)
1	5	0.1601	0.1641	160	181
2	10	0.1537	0.1573	144	170
3	15	0.151	0.155	160	170
4	20	0.15	0.1539	156	180
5	25	0.1377	0.142	172	175
6	30	0.149	0.1544	216	180

Titik sampling pada underflow					
No.	Menit ke-	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)
1	5	0.1436	0.146	96	175
2	10	0.155	0.1573	92	167
3	15	0.148	0.152	160	174
4	20	0.1581	0.1629	192	177
5	25	0.1534	0.1597	252	161
6	30	0.152	0.1552	128	157

4. PENELITIAN IV (variasi: panjang *cone* 60 cm dan tekanan 0,15 kg/cm²)

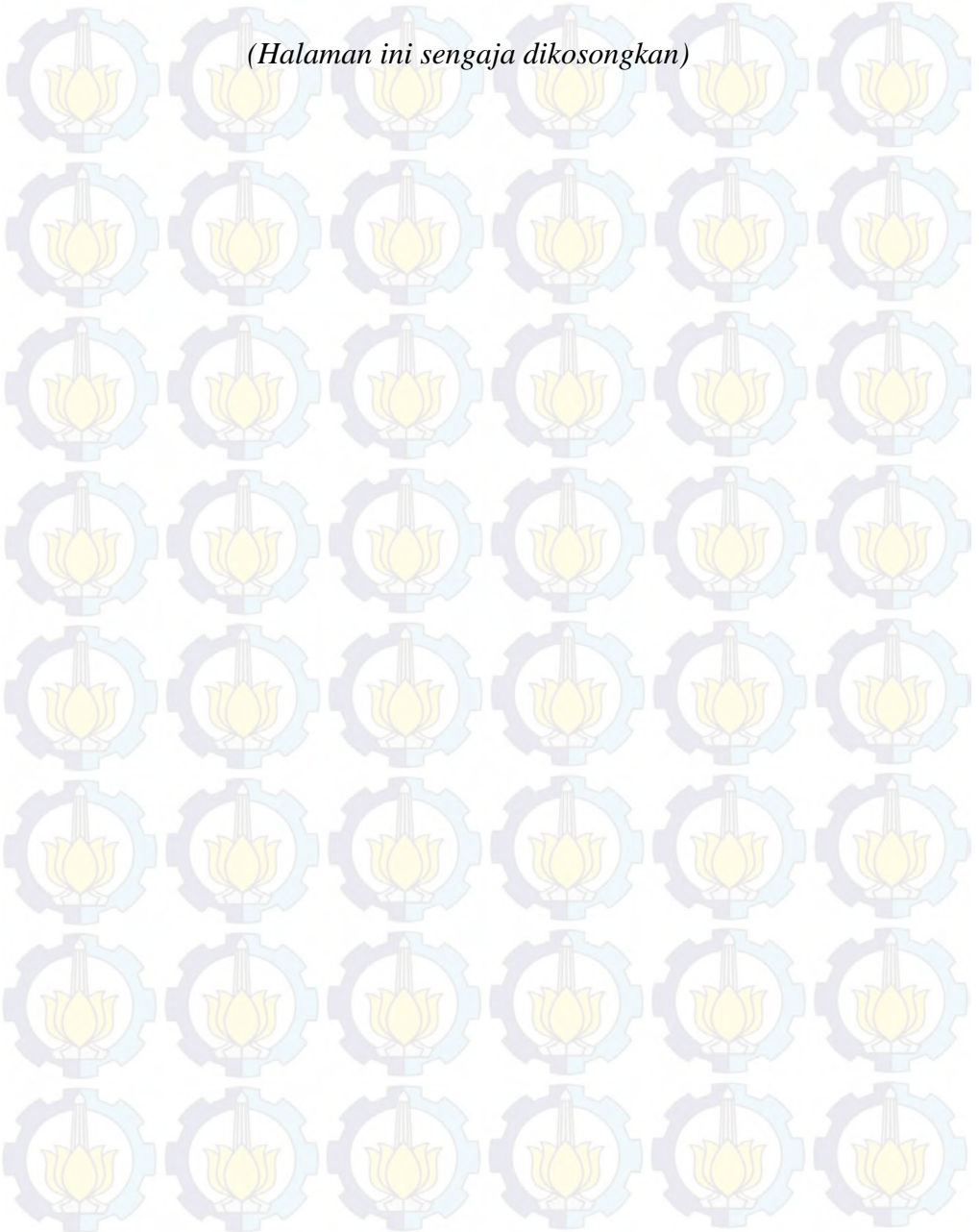
Titik sampling pada Inlet							
No.	Menit ke-	Debit (L/menit)	Tekanan (kg/cm ²)	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)
1	5	25	0.1	0.1416	0.1463	188	187

Titik sampling pada Inlet							
No.	Menit ke-	Debit (L/menit)	Tekanan (kg/cm ²)	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg/L)	Keke-ruhan (NTU)
2	10	24	0.1	0.1403	0.1442	156	193
3	15	24	0.1	0.1397	0.1446	196	188
4	20	24	0.1	0.1345	0.1395	200	194
5	25	23.5	0.1	0.1427	0.1474	188	192
6	30	24	0.1	0.1392	0.1451	236	189

Titik sampling pada overflow					
No.	Menit ke-	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)
1	5	0.1385	0.1406	84	164
2	10	0.1322	0.1354	128	179
3	15	0.1314	0.1353	156	175
4	20	0.1409	0.145	164	184
5	25	0.1363	0.1412	196	188
6	30	0.1355	0.141	220	185

Titik sampling pada underflow					
No.	Menit ke-	Berat kertas kosong (g)	Berat kertas + sampel (g)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)
1	5	0.1369	0.1421	208	207
2	10	0.1399	0.1449	200	178
3	15	0.1435	0.148	180	180
4	20	0.1435	0.1481	184	210
5	25	0.1358	0.1405	188	183
6	30	0.1434	0.1483	196	182

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN E



Hydrocyclone



Rangkaian Reaktor

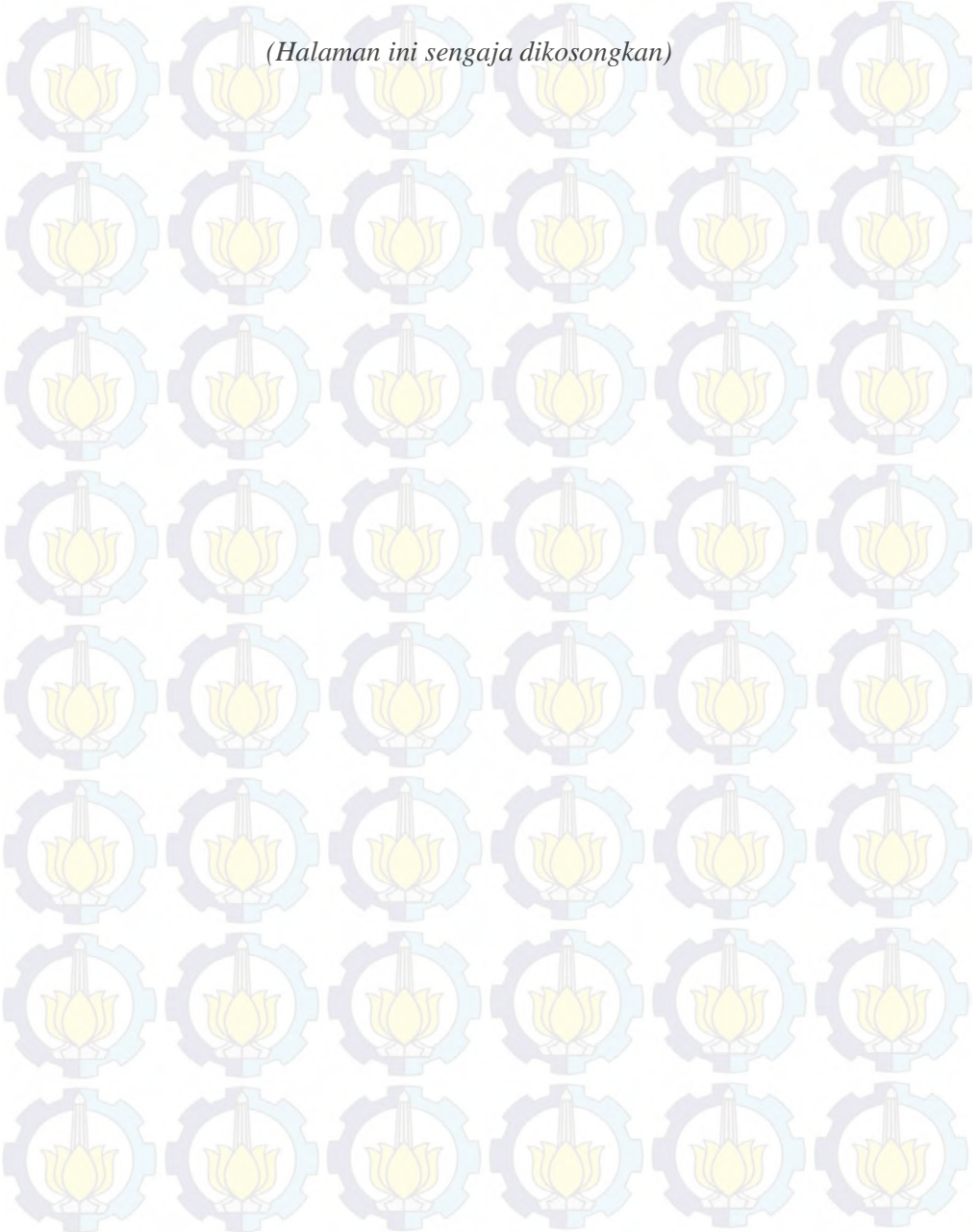


Pengukuran air sampel pada
analisa TSS



Vaccum pump pada analisa
TSS

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BIODATA PENULIS



Penulis laporan Tugas Akhir ini bernama Anita Kusmayanti yang biasa dipanggil Anita. Perempuan yang lahir di Surabaya tanggal 8 Mei 1992 ini merupakan anak ke 2 dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak Kusyanto dan Ibu Suparmi. Riwayat pendidikan penyusun yaitu TK di TK Dharma Wanita III pada tahun 1997, SD di SDN Baratajaya Surabaya pada tahun 1998-2004, SMP di SMPN 19 Surabaya pada tahun 2004-2007, SMA di SMAN 16 Surabaya pada 2007-2010. Setelah menyelesaikan pendidikan SMA, penulis melanjutkan kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember jurusan Teknik Lingkungan angkatan 2010. Di dunia perkuliahan ini penyusun bergabung di organisasi kemahasiswaan jurusan yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan, juga memiliki beberapa pengalaman kepanitiaan kegiatan kampus, serta mengikuti beberapa pelatihan seperti LKMM TD dan ISO 14000. Pada 2012 penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT Petrokimia Gresik di Bagian Lingkungan dan K3. Jika ingin bertanya lebih lanjut tentang penelitian ini atau sekedar memberikan saran dan kritik silahkan hubungi e-mail penulis yaitu anita.kusmayanti@gmail.com.